Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

50X1-HUM

Page Denied

Next 1 Page(s) In Document Denied

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Inhaltsverzeichnis

A) Allgemeines: Seite

1. Die Grenzen der Instrumenten-Methode 1
2. Gegenüberstellung:
   Durchgangsleistungsmesser-Absorptionsleistungsmesser . . 1

B) Die Absorptionsleistungsmesser:

I. Nicht abstimmbare Absorptionsleistungsmesser:

1) Thermo-Absorber für konzentrische Leitungen,
   $\lambda > 3{,}2$ cm 3
2) Allgemeines über Hohlrohrleiter 6
3) Wasserleistungsmesser A und B 17
4) Leistungsmesser nach dem Luftthermometer-Prinzip . . 21

II. Abstimmbare Absorptionsleistungsmesser:

1) Meßprinzip 32
2) Die Indikatoren
   a) Metallische und Halbleiter-Bolometer 34
   b) Meßlampen 34
   c) Thermoelemente 35
3) Die Gleichstrombrücke und ihre Meßgenauigkeit . . . 38
4) Die Eigenschaften der Metalldraht-Bolometer
   a) Gleichstromkennlinien 51
   b) Hochfrequenz - Verhalten 52
5) Anpassung und Transformation . . . . . .
   a) Stromverteilung 58
   b) Transformation 65
   c) Diskussion der Verluste 69
6) Bolometer-Leistungsmesser
   a) Gerät A für Dezimeterwellen mit kons. Leitersystem 75
   b) Gerät B für Zentimeterwellen mit kons. Leitersystem 77
   c) Gerät C für Zentimeterwellen mit Hohlrohr-Leitersystem 79
7) Photometer-Leistungsmesser 84

C) Zusammenstellung von Leistungsmessungen 90

D) Anhang

E) Literaturzusammenstellung . . . . . STAT

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Verzeichnis der Anlagen

Anlage Nr.	Bezeichnung	nach Seite
1	Therme-Absorber, Schnittzeichnung	5
2	thermische Zeitkonstante des Therme-Absorbers	5
3	Eichkurve des Therme-Absorbers	5
4	Zusammenstellung von Leitungsdaten	7
5	H_{10}-Wellenbild bei Anpassung	15
6	" " " Reflexion	15
7	Wasserleistungsmesser A, Prinzipbild	18
8	Leitfähigkeit des Wassers	18
9	Leistungsdiagramm Wasserleistungsmesser A	19
10	" " B	19
11	Daten der Hohlrohrprofile A und B	19
12	Fehlanpassung in Abhängigkeit von der Welligkeit	19
13	Leistungsverlust durch Fehlanpassung	19
14	Welligkeit des Wasserleistungsmessers A	19
15	Berechnung der Wasserleistungsmesser	19
16	Anpassung der Längsfolie im Hohlrohr	23
17	Eichkurve der Hohlrohr-Meßleitung	23
18	Fehlanpassung der Längsfolie im Hohlrohr	23
19	Frequenzabhängigkeit des Hohlrohrabsorbers	23
19a	Schema des Luftthermometer-Leistungsmessers	28
20	Kennlinien der Halbleiter-Bolometer	34
21	Eichkurven der Thermo-Elemente	36
22	Berechnung der Bolometerbrücke	38
23	Kennlinien von Vakuum-Bolometern	41
24	Brückenempfindlichkeit mit Vakuum-Bolometern	41
25	Berechnung der Widerstandserhöhung durch Stromverdrängung	55
26	Skin-Effekt als Funktion des Durchmessers	55
27	" " " " der Wellenlänge	55
28	" " " " der Temperatur	55
29	Kennlinien-Berechnung als Funktion der Stromstärke	55
30	" " " " " Leistung	55
31	Berechnung des Eingangswiderstandes des Bolometers	57
32	Eingangswiderstand des Bolometers (Kurvenbild)	57
33	Schema der Meßleitung zur Bolometer-Untersuchung	58
34	Untersuchung des Einflusses der Stromverteilung	59

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3 STAT

Anlage Nr.	Bezeichnung	nach Seite
35	Wirkung der Stromverteilung in verschiedenen Halterungen	61
36	Transformationsdiagramm der Dreistichleitung	68
37	Bestimmung der Vierpol-Wirkverluste	73
38	Prinzip des Bolometer-Leistungsmessers A	75
39	" " " " B	77
40	" " " " C	79
41	Eichkurven des Photo-Leistungsmessers	86
42	Kennlinien des Bolometers 2090	Anhang
43	" " " 2519	
44	" " " 2520	
45	" " " 2091	
46	" " Meßlämpchens	
47	Zusammenstellung der Formeln f. d. Skineffekt	
48	Verlauf des spez. Widerstandes von Wolfram	
49	" der Wärmeleitfähigkeit " "	
50	Absorptionsvermögen von Wolfram	
51	Ausgleich des Skineffektes von Wolfram 11 µm Ø	
52	Temperaturverlauf des Bolometerfadens	
53	Eindringtiefen in Leitern bei = $0{,}1 \ldots 10^5$ MHz	
54	Berechnung und Konstruktion der Leitungs- und Kreisdiagramme	

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3
STAT

A) Allgemeines der Leistungsmessung bei Hochfrequenz

1. Die Grenzen der Instrumenten-Methode:

Die Leistungsmessung mit Spuleninstrumenten versagt bei den Frequenzen, bei denen die Spuleneigenschaften eine Verstimmung der betr. abgestimmten Kreise bewirken. Für die Leistungsmessung im Mittel- und Hochfrequenzbereich bis zu $\lambda > 3$ m können solche Meßwerkzeuge Verwendung finden, die in den Leitungszug eingebaut werden, ohne die Wechselstromgrössen der Kreise zu verändern. Dabei ist stets anzustreben, dass eine Eichung mit Gleichstrom erfolgen kann, da hiermit die grösste Genauigkeit der Absoluteichung möglich ist.

Für den vorgenannten Frequenzbereich kommen deshalb zur Anwendung:

Hitzdrahtinstrumente,
Thermokreuz-Instrumente, direkt oder mit Strom- und Spannungswandler,
photo-elektrische Instrumente.

Beim Übergang zu den kürzeren Wellen im Dezimeter- und Zentimeterbereich dienen "Leitungen" nicht mehr nur der Übertragung der Energie, sondern sie erhalten "Transformationseigenschaften", sobald ihre Längen in der Grössenordnung der Wellenlänge liegen.

Die vorgenannten Instrumente sind jetzt nur noch bedingt anwendbar, da die Zuleitungen oder ihr Aufbau an sich an einer Stelle die Eigenschaften der homogenen Leitung verändern oder durch die Leitung bis zur eigentlichen Meßstelle eine andere Grösse transformiert wird, als abgegriffen wurde. Lediglich die photometrischen Instrumente können bei geeigneter Ausbildung und Anordnung der Glühfäden bis zu den Zentimeterwellen Verwendung finden.

Ein für HF brauchbares Hitzdrahtinstrument wurde von Schlesinger (HFT 1942, Bd.30) angegeben. Dabei wird die Erwärmung eines freihängenden Heizdrahtes im Vakuum nur soweit getrieben, dass sich seine Eigenschwingungszahl ändert, was durch magnetische Anregung ermittelt wird.

2. Gegenüberstellung:

Durchgangsleistungsmesser - Absorptionsleitungsmesser:
Die allgemeine Aufgabe an einem Leistungsmesser ist, die Lei-

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3 STAT

stung zu messen, die eine mit ihrem Wellenwiderstand, also reflexionsfrei abgeschlossene Leitung im gegebenen Falle transportiert. Der Absorptionsleistungsmesser soll die gesamte Leistung unter demselben Anpassungszustand verbrauchen und zur Anzeige bringen, während der Durchgangsleistungsmesser lediglich eine geeichte Anzeige ohne nennenswerten Leistungsverbrauch geben soll. Letzteres läuft im wesentlichen auf eine absolute Messung der Leitungsspannung hinaus, aus der man die Leistung durch

$N = \frac{1}{Z} |\mathfrak{U}|^2 Z$ (U als Scheitelwert)

berechnet. Ein Durchgangsleistungsmesser für Dezimeterwellen z.B. kann einfach aus einer Diode (z.B. SA 100, SA 102) bestehen, die parallel zu einer Leitung geschaltet wird. Damit die Anpassung auf der Leitung nicht gestört wird, muss die Kapazität dadurch kompensiert werden, dass der Innenleiter an dieser Stelle dünner gemacht wird.

Bis zu einer Grenzfrequenz ist diese Kompensation frequenzunabhängig, sie muss versuchsmässig, schrittweise ermittelt werden. Damit die Diode keine nennenswerte Leistung verbraucht, wird sie im Gleichstromkreis mit einem hohen Gleichstromwiderstand versehen, so dass nur sehr kleine Ströme fliessen.

Es ist jedoch nicht möglich, diese Vorrichtung bei niedrigen Frequenzen zu ziehen, weil bei Dezimeterwellen noch 2 besondere Effekte auftreten:

Die Zuleitung vom Innenleiter der Leitung zur Anode in der Röhre und die Zuleitung vom Aussenleiter zur Kathode besitzen eine Induktivität, deren Blindwiderstand bei diesen Frequenzen schon eine wirksame Grösse hat. Die Spannung zwischen Anode und Kathode innerhalb der Röhre, welche die Spannungsanzeige hervorruft, ist also schon wesentlich verschieden gegen die zu messende Leitungsspannung zwischen Innen- und Aussenleiter der Leitung. Die Spannung in der Röhre wird grösser als die Leitungsspannung sein, weil die Serienschaltung von L und C zu einer Spannungsüberhöhung bei Annäherung an die Resonanzfrequenz führt. Diese muss daher ausserhalb des vorgesehenen Meßbereiches liegen.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Der zweite Effekt, der zu einer Verkleinerung des angezeigten Diodenstromes führt, beruht in der Elektronenträgheit. Der über den hohen Gleichstromwiderstand fliessende Anodengleichstrom gibt der Anode eine grosse negative Vorspannung, sodass die Anodenspannung nur in einem kleinen Zeitintervall in der Nähe der Spannungsspitze positiv ist und in diesem Elektronen zur Anode hinüberwandern können. Infolge der geringen Zeit reicht diese Zeitspanne nicht aus, um allen Elektronen den Übergang zur Anode zu ermöglichen. Deshalb müssen viele Elektronen wieder umkehren und auf die Kathode zurückfallen, so dass der Anzeigestrom kleiner wird. Eine solche Anzeige-Vorrichtung muss also im später verwendeten Wellenbereich geeicht werden. Man schliesst dazu die Leitung mit einem Absorptionsleistungsmesser ab und misst die aufgenommene HF-Leistung und eicht danach die Diode. Die Scheitelspannung auf der Leitung am Ort der Diode beträgt $|\mathfrak{U}| = \sqrt{2NZ}$ [V]

Dieses Verfahren ist verwendbar für Wellen mit $\lambda > 30$ cm.

In der Dezimeter-Meßtechnik versteht man unter "grossen Leistungen" solche von 0,1...20 Watt. Noch grössere Leistungen werden mit Ausnahme der kalorimetrischen Leistungsmesser mit Hilfe von kapazitiven und Hohlrohr-Spannungsteilern reduziert.

In der folgenden Arbeit werden Absorptionsleistungsmesser beschrieben, die für den Wellenbereich von 2...12 cm verwendet werden können und mit denen sowohl grosse als auch kleine und kleinste Leistungen gemessen werden können, was zur Eichung von Meßsendern und deren Spannungsteilern erforderlich ist.

B) Absorptionsleistungsmesser

I. Nicht abstimmbare Absorptionsleistungsmesser

1) Thermo-Absorber für konzentrische Leitungen $\lambda > 3{,}2$ cm:

Um verschiedene Ausführungen von Leistungsmessern mit unterschiedlichen Indikatoren und Anpassungsgliedern beurteilen zu können, ist es erforderlich, einen frequenzunabhängigen, phasenreinen Wirkwiderstand als reflexionsfreien Leitungsabschluß zu haben, der einen Indikator erhalten soll, damit gleichzeitig eine Leistungsmessung erfolgen kann. Dabei wird die Forderung gestellt,

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3 STAT

dass eine Absoluteichung bei Gleichstrom möglich sein soll, die bis in den Zentimeterwellenbereich gültig ist.

Diese Forderung erfüllt ein Kohle-Schichtwiderstand, der in einem Exponentialgehäuse als Abschirmung untergebracht ist. Der Gleichstrom-Widerstandswert R muss gleich sein dem dezimetrischen Widerstandswert $\mathfrak{R}$ und $\mathfrak{Z}$ an jeder beliebigen Stelle. Am Ort x bilden Schichtwiderstand und Aussenleiter ein Stück Leitung vom Wellenwiderstand $\mathfrak{Z}_L$, der gleich dem Gleichstromwiderstand der Länge x sein muss.

Die Forderung, dass der Wirkwiderstand von Gleichstrom bis zu den Zentimeterwellen gleich bleibt, setzt voraus, dass die Eindringtiefe ein Vielfaches der Kohleschichtdicke beträgt, d.h. die Kohleschicht nimmt stets voll am Energie-Transport teil.

Für den genormten 1/2 Watt-Widerstandskörper (4,6 mm Ø, 18 mm lang) ergibt sich für R = 70 Ω eine Leitschichtdicke von 0,7 µm (dabei $\sigma' = 0{,}03$) ($\frac{m}{\Omega\,mm^2}$) angenommen).

Für $\lambda = 3$ cm ergibt sich eine Eindringtiefe t:

$$t = \frac{0{,}5}{\sqrt{f \cdot 6\,\mu_{rel}}} \quad [mm] = \frac{0{,}5}{\sqrt{10^4 \cdot 0{,}03 \cdot 1}} = 30\,\mu m \qquad (1)$$

Als Widerstandskörper dient ein Keramikröhrchen mit 0,5 mm Wandstärke, die Kohleschicht wird durch thermische Dissoziation bei 800° in Pentan-Atmosphäre auf dem Körper niedergeschlagen.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3 STAT

Mit einer Mikrometerschraube wurde das Keramikrohr vor und nach dem Kohleniederschlag nachgemessen, eine meßbare Schichtdicke wurde damit nicht festgestellt. Der Widerstandskörper liegt im Leitungszug einer konzentrischen Leitung mit 16 mm Aussendurchmesser und 5 mm Innenleiter Ø. Diese besitzt einen Wellenwiderstand von

$$Z = 60 \cdot \ln \frac{D}{d} = 60 \cdot \ln \frac{16}{5} \approx 70\ \Omega \qquad (2)$$

Eine konzentrische Leitung kann von f = 0 (Gleichstrom) bis f betrieben werden. Bei einer bestimmten Grenzfrequenz jedoch bilden sich neben der "Hauptwelle" selbständig Hohlrohrwellen der verschiedenen E- und H-Typen aus, je nach der Art der Anregung an Inhomogenitäten der Leitung.

Die längste Grenzwelle besitzt die Hohlrohrwelle der H_{11}-Erregung, sie beträgt

$$\lambda_{grenz} = \frac{\pi}{2}(D+d) = \frac{\pi}{2}(1{,}6 + 0{,}5) = 3{,}25\ cm. \qquad (3)$$

Die konzentrische Leitung mit 5/16 mm Ø ist also mit Wellenlängen > 3,25 cm eindeutig zu betreiben.

Die Abschirmung des Widerstandes erfolgt mit einem Exponentialtrichter, dessen Verlauf nach o.a. Formel bestimmt wurde.

Um zu vermeiden, dass von der Schraubkupplung her Kräfte auf den Widerstandskörper übertragen werden, ist zwischen Buchse und Widerstand ein dreh- und längsbeweglicher Federkontakt vorgesehen.

Die "Güte" des Abschlusses wurde im Bereich von 30...3,4 cm mit einer zwischengeschalteten Meßleitung überprüft, sie lag stets zwischen m = 1,1...1,4.

Nach der Formel

$$p = \frac{N}{N_{opt}} = \frac{4}{2+m+\frac{1}{m}} = \frac{4}{2+1{,}4+\frac{1}{1{,}4}} = 0{,}97 \qquad (4)$$

bedingt dies ungünstigstenfalls eine Leistungsfehlmessung von 3 %.

Der Anpassungsfehler ist zum Teil bereits durch die Schraubkupplungen bedingt, die stets einen Z-Sprung darstellen, da sich

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3 STAT

Innen- und Aussenleiter der zu verbindenden Leitungen nicht gleichzeitig ohne Z-Stoss berühren werden.

Der Abschlusswiderstand muss nun durch geeignete Indikatoren als Leistungsmesser ausgestattet werden (siehe Anl. 1). Als Mass der im Widerstand aufgenommenen elektrischen Energie dient dessen Erwärmung. Die Erwärmung wird mit einer achtfachen Thermosäule gemessen (Cu-Konstantan-Elemente), die über den Umfang verteilt an der Innenwand des Keramikrohres anliegen. Wie aus dem Kurvenbild (siehe Anl. 2) zu ersehen ist, stellt sich der volle Anzeigewert infolge der thermischen Trägheit erst nach ca. 3 Minuten ein. In dieser Zeit können grössere Energieschwankungen des Generators entstehen, bzw. eine erforderliche Einstellung von Koppelgliedern ist in ihrer Wirkung nicht zu beobachten. Es wurde deshalb ein Kontrolldetektor so angeordnet, dass er kurz vor dem Ende des Widerstandskörpers noch eine kleine Spannung abgreift und zur Anzeige bringt. Damit kann die jeweilige Spannungsamplitude beobachtet werden.

Um den Einfluss fremder Felder und kurzfristiger Temperatur schwankungen auszuschalten, ist der Absorberkörper mit Abschirmung von einem elektrisch dicht gelöteten Gehäuse umgeben. Mit dieser Anordnung können Leistungen von 10 mW...1 W bei $\lambda > 3{,}25$ cm gemessen werden. Der Leistungsbereich lässt sich durch Ölfüllung des Gehäuses auf über 3 Watt erhöhen.

2. <u>Allgemeines über Hohlrohrleiter:</u>

Wird eine konzentrische Leitung mit steigender Frequenz betrieben, so bilden sich von einer Grenzfrequenz ab Feldgebilde aus, die nicht mehr an den Innenleiter gebunden sind. Diese Grenzfrequenz liegt bei den Wellenlängen, die in der Grössenordnung der Dimension des Leitungsquerschnittes liegen. Voraussetzung ist jedoch dabei eine entsprechende Anregung (z.B. Z-Sprung, Koppelschleife o.ä.) Unterhalb der Grenzfrequenz findet ein aperiodischer Abfall aller Hohlrohrwellen längs der Leitung nach der Funktion $e^{-\pi \frac{x}{\lambda_g}}$ statt, wobei λ_g die Grenzfrequenz des betreffenden Schwingungstype ist (siehe Übersichtsblatt Anl. 4). Im Abstand $x = \frac{1}{2}\lambda_g$ sind die Störfeldstärken von ihren Anregungsstellen aus um den Faktor $e^{-\pi} = 0{,}04$ abgeklungen.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3 STAT

Das nachstehende Bild zeigt den Momentanzustand einer fortschreitenden Welle auf einer konzentrischen Leitung.

Diese Feldbilder verschieben sich längs der Leitung mit der Phasengeschwindigkeit. Die angedeuteten Feldlinien und Ströme muss man sich zylindersymmetrisch um die Leitungsachse ergänzt denken. Es bilden sich Stromkreise aus den Leitungsströmen J_y und J_w auf den begrenzenden Leitern und die Verschiebungsströme J_c über die Leitungskapazität, die mit den kreisförmigen, magnetischen Feldlinien h_η verkettet sind. Abb. 3 zeigt die Verteilung der magnetischen Feldstärke h_η längs der Leitung. Die Längsströme auf den Leitern haben diemgleiche cos-Verteilung nach dem Gesetz, dass die Stromdichte auf der Leiteroberfläche überall gleich der magnetischen Feldstärke an der Leiteroberfläche ist. Die Querströme J_c der Leitung haben ebenfalls cos-förmige Verteilung, jedoch um eine Viertelwellenlänge verschoben. Sie verlaufen parallel zu den elektrischen Feldlinien und stehen senkrecht zum Vektor der magnetischen Feldstärke und den Leitungsströmen. ξ hat aber den gleichen Verlauf wie h_η, denn Verschiebungsströme fliessen dort, wo sich ξ beim Verschieben der Feldbilder längs der Leitung zeitlich änderte. Ein ähnliches Bild ergibt sich

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

für den Feldverlauf im Hohlrohr bei einer E_{01}-Erregung:

Im zylindr. Hohlrohr sind bei E_{01}-Erregung die Längsströme der Innenleitung durch kapazitive Verschiebungsströme ersetzt, die entlang der elektrischen Feldlinien verlaufen, dabei parallel zur Leitungsachse bleiben. Die Ströme in der Rohrwand sind die gleichen wie bei der konzentrischen Leitung. Die Verschiebungsströme verteilen sich nach einer Bessel-Funktion stetig über den Leitungsquerschnitt.

Das Wellenbild der H_{10}-Welle:

Auf einer Leitung, die aus 2 parallelen Bändern besteht, bilden sich Stromkreise und die damit verketteten magnetischen Feldlinien, wie in dem nachstehenden Bild bezeigt, aus.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3 STAT

Werden nun die Aussenkanten der Bänder durch senkrechte leitende Wände verbunden, so erhält man einen Hohlleiter mit rechteckigem Querschnitt, in dem eine H_{10}-Welle verläuft, die dem Bild der Bandleitung weitgehend ähnelt.

Es fliessen jetzt nicht nur die Wandströme in Längsrichtung der Leitung, sondern auch Ausgleichströme in den senkrechten Rohr-

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

wänden, so dass sich die Stromkreise der Verschiebungsströme zwischen den waagerechten Wänden teils inder Längs, teils in der Querrichtung schliessen.

Die elektrische Feldstärke der Bandleitung ist annähernd über die Breite gleich, in der Hohlrohrleitung ist sie jedoch wegen des Kurzschlusses der Wände sussen gleich 0 !

Die elektrische Feldstärke ist über den Querschnitt nach einer cos-Funktion verteilt. Die magnetischen Feldlinien schliessen sich nicht mehr um die Bänder herum, sondern geben geschlossene Linien in der Längsrichtung. Während also die E-Wellen durch Längskomponenten der elektrischen Feldstärke in der Längsrichtung zusammenhängen, geschieht diese Verkopplung bei H-Wellen durch die Längskomponenten der magnetischen Feldstärke.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Bei gleicher Anregung kann man dieses Feldbild auch in einem zylindrischen Hohlrohr anregen, wobei sich das untenstehende Bild, die H_{11}-Welle im zylindrischen Rohr ergibt.

Damit ist die Entstehung der drei wichtigsten Wellentypen in Hohlrohren der E_{01}, H_{10} und H_{11}-Wellen erklärt, die wegen ihres grossen Eindeutigkeitsbereiches allein technische Bedeutung für Energietransport haben. Hohlrohrwellen höherer Ordnung müssen nur wegen der Störmöglichkeiten auf ihre Existensfähigkeit untersucht werden.

Der Wellenwiderstand der E_{01}-Welle:

Aus der Ableitung des Wellenbildes lässt sich auch das Ersatzschaltbild ableiten: Ein kurzes Stück einer konzentrischen Leitung wirkt wie eine Zusammenschaltung einer Längsinduktivität und einer Querkapazität.

Die magnetische Feldenergie ist durch die Induktivität L und den Leitungsstrom J gegeben

$$W_m = 1/2\ L \cdot J^2$$

Die elektrische Feldenergie ergibt sich aus der Querkapazität C und der Querspannung U

$$W_e = 1/2\ C\ U^2$$

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Bei der E_{01}-Welle kommt noch die mit den Längsströmen verknüpfte Energie der elektrischen Längsfelder hinzu. Im Ersatzschaltbild ist also eine zusätzliche Längskapazität C' erforderlich. In der Leitung ist aber eine Welle nur existenzfähig, wenn der Längswiderstand induktiv und der Querwiderstand kapazitiv ist. Unterhalb der Resonanzfrequenz dieser Serienschaltung (= Grenzfrequenz) ist dann keine Welle möglich.

Für die E_{01}-Welle ist $\lambda_g = 1{,}31\ D$, also proportional zum Durchmesser D des Hohlrohres.

$$Z_E = 120\,\pi \sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_g}\right)^2} \quad [\Omega] \qquad (5)$$

Für Leitungen mit Dielektrikum ist der Z-Wert mit $\sqrt{\varepsilon}$ zu dividieren. Z_E ist also bei Hohlrohrleitungen frequenzabhängig, bei der Grenzwelle wird Z = 0 !

Wellenwiderstand der H-Wellen:

Gegenüber dem Feldbild der Bandleitung treten bei der H_{10}-Welle Querströme und die damit verbundenen Längskomponenten des magnetischen Feldes auf. Das Ersatzschaltbild muss also durch eine Querinduktivität L' ergänzt werden. Danach ist eine Welle nur dann möglich, wenn die Frequenz so hoch ist, dass der aus C und L' bestehende Querkreis resultierend kapazitiv ist. Die Resonanzfrequenz der Parallelschaltung bestimmt wiederum die Grenzfrequenz, unterhalb derer keine Welle möglich ist. Die Grenzwellenlänge $\lambda_g = 2a$ ist also proportional zur Breitseite a und unabhängig von der Höhe b !

Der Wellenwiderstand der H-Wellen

$$Z_H = \frac{120\,\pi}{\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_g}\right)^2}} \qquad (6)$$

ist ebenfalls frequenzabhängig, jedoch so, dass bei $\lambda \to \lambda_g$ $Z \to \infty$ wird.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Die Rohrwelle im Hohlleiter:

Die Indizierung der Wellentypen: Wellen mit $\mathfrak{H}_z = C$ heissen E-Wellen, Wellen mit $\mathfrak{E}_z = 0$ heissen H-Wellen. Dabei sind $\mathfrak{H}_z$ bzw. $\mathfrak{E}_z$ die Komponenten des magnetischen bzw. elektrischen Feldes in Richtung der z-Achse. Zur Indizierung dient bei <u>E-Wellen</u> die z-Komponente des <u>elektrischen</u> und bei <u>H-Wellen</u> die z-Komponente des <u>magnetischen</u> Feldes.

Die z-Komponenten sind bei <u>rechteckigen</u> Hohlleitern im wesentlichen Produkte zweier trigonometrischer Funktionen mit den Argumenten $x \frac{\pi}{a}$ und $x \frac{\pi}{b}$. Die zugehörige E- bzw. H-Welle trägt dann die Bezeichnung E_{mn} bzw. H_{mn}.

Bei Hohlleitern mit kreisförmigen Querschnitt sind die z-Komponenten im wesentlichen Produkte einer Bessel-Funktion n-ter Ordnung und einer trigonometrischen Funktion. Das Argument der Bessel-Funktion hat dabei die Form $\chi_{nm} \frac{\rho}{r}$; wobei χ_{nm} die m-te Nullstelle der Besselfunktion n-ter Ordnung bedeutet.

Die zugehörige E- bzw. H-Welle trägt dann die Bezeichnung E_{nm} bzw. H_{nm}.

Nach der Theorie von Schelkunoff kann man eine längs der Rohrachse z fortschreitende Welle auch auffassen als die Überlagerung von zwei ebenen Wellen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit in der Röhre fortpflanzen und die Röhrenwände unter einem Winkel ϑ treffen (wobei $\vartheta = f(\frac{\lambda}{\lambda_g r})$, wie untenstehende Abbildung zeigt: (Bild a):

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Bild b der Abb. 14 zeigt in Polarkoordinaten die Abhängigkeit des Winkels φ von dem Verhältnis Betriebsfrequenz f/Grenzfrequenz f_{gr}.

Die Rohrwellenlänge Λ wird aus der Luftwellenlänge λ und dem Wellenverhältnis (wobei $\lambda_{gr} = 2a$ für rechteckige Hohlleiter ist) wie folgt berechnet:

$$\Lambda = \lambda \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_{gr}}\right)^2}} \qquad (7)$$

Im Hohlleiter mit Dielektrikum:

$$\Lambda_\varepsilon = \frac{\lambda}{\sqrt{\varepsilon}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_{gr}}\right)^2}} \qquad (8)$$

Der Ausdruck $\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_{gr}}\right)^2}$ wird auch als der Brechungsindex des Hohlleiterprofils bezeichnet.

Umgekehrt berechnet sich die Luftwellenlänge λ bei gegebener Hohlrohrwellenlänge Λ (wichtig für Messungen an einer Hohlrohr-Meßleitung) als:

$$\lambda = \Lambda \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{\lambda}{\lambda_{gr}}\right)^2}} \qquad (9)$$

Es ist stets $\Lambda > \lambda$; Λ wächst bei Annäherung an $\lambda_g \to \infty$, wie aus den Datenblättern der Hohlrohrprofile A und B (Anl. 11) zu ersehen ist.

Das Feldbild der H_{10}-Welle im rechteckigen Hohlleiter:

Die Feld- und Stromverteilungsbilder sind für die beiden Grenzfälle "Anpassung" (Energietransport) und Kurzschluss (Reflexion) in den Anlagen 5 und 6 herausgezeichnet.

Das magnetische Feld $\mathfrak{H}$ besteht aus "Wirbeln" vieler ringförmig geschlossener Kraftlinien verschiedener Feldstärke, deren Ebenen parallel zur Breitseite des Hohlleiters liegen, sie wiederholen sich im Rohrwellenabstand Λ. Der jeweilige Wechsel der Feldrichtung erfolgt im Abstand von $\frac{\Lambda}{2}$ in den Querschnittsebenen, die mit den von azimutalen Wandströmen freien Querschnitten bzw. solchen mit maximalen longitudinalen Wandströmen (Längsströme), zusammenfallen.

Bei Energietransport fallen die Höchstwerte des elektrischen Feldes mit denen der Längsströme in einer Querschnittsebene zusammen. Die Felder bewegen sich in ihrer dargestellten Lage

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

zueinander mit der Phasengeschwindigkeit

$$v_p = \frac{c}{\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_{gr}}\right)^2}} \qquad (10)$$

In einer betrachteten Querschnittsebene befinden sich also Spannung und Längsstrom in Phase. Die Leitung überträgt dann eine reine Wirkleistung.

Im Resonanzfall, d.h. bei kurzgeschlossenem Hohlleiter bilden sich durch Reflexion der Wellen am Abschluss stehende Wellen aus. Der Kurzschluss erzwingt am Leitungsende die Feldstärke $\mathcal{E} = 0$. Die Längsströme fliessen in der Abschlussebene mit maximaler Stärke. Dadurch schliessen sich auch die magnetischen Feldlinien vor der Abschlussebene mit maximaler $\mathcal{H}_{max}$ Die azimutalen Wandströme haben in der Abschlussebene die Grösse Null. Das Bild der örtlichen Verteilung der Längsströme und der elektrischen Feldstärke hat sich also gegenüber dem Fall des Energietransportes um $\lambda/4$ verschoben. Infolge dieser Phasenverschiebung von 90° zwischen Strom und Spannung, bzw. elektrischem und magnetischem Feld überträgt die Leitung jetzt nur noch Blindleistung.

Die Grössen des Energietransportes durch Hohlleiter:

Für die Dimensionierung einer Schaltung ist es wichtig, einen Überblick über die auftretenden Spannungen und Ströme zu haben, um daraus für die Gestaltung von Schiebern und Kupplungen die Schlüsse zu ziehen.

Die maximale Leistung, die ein Hohlleiter übertragen kann, ist durch die Spannungsfestigkeit der Leitung bedingt: Die maximale Feldstärke $\mathcal{E}_{max}$ ist am geringsten bei Anpassung des Verbrauchers (bis zur Verdopplung bei Totalreflexion).

Bei einer H_{10}-Welle tritt die maximale elektrische Feldstärke in der Mitte zwischen den beiden Breitseiten auf.

$\mathcal{E}_{max}$ (Scheitelwert) beträgt bei einer übertragenen Leistung N (Watt):

$$\mathcal{E}_{max} = 38{,}8\sqrt{\frac{N}{a \cdot b}} \cdot \frac{1}{\sqrt[4]{1-\left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}} \cdot \left[\frac{V}{cm}\right] \qquad (11)$$

Die maximale Oberflächenstromdichte des Längsstromes auf den

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Breitseiten:

$$J_{z\,max} = 9{,}103 \sqrt{\frac{N}{a \cdot b}} \sqrt[4]{1-\left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2} \quad \left[\frac{A}{cm}\right] \tag{12}$$

Der gesamte Längsstrom über die Breitseite:

$$J_z = 0{,}065 \sqrt{\frac{N \cdot a}{b}} \sqrt[4]{1-\left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2} \quad [A] \tag{13}$$

Die Stromdichte in den Schmalseiten (s.Abb. Seite):

$$J_x = 0{,}052 \sqrt{\frac{N}{ab}} \frac{\lambda}{a} \frac{1}{\sqrt[4]{1-\left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}} \quad \left[\frac{A}{cm}\right] \tag{14}$$

Für den kreisförmigen Querschnitt bei H_{11}-Erregung: $\lambda_{gr} = 1{,}71\ d$.

Die elektrischen Komponenten in der Querschnittsebene:

$$\mathcal{E}_r = \frac{K_1}{r} \cdot J_1\left(3{,}7\,\frac{r}{d}\right) \sin\varphi$$

$$\mathcal{E}_\varphi = \frac{3{,}68}{d} \cdot K_1 J_1'\left(3{,}7\,\frac{r}{d}\right) \cos\varphi$$

$$K_1 = 2{,}44 \sqrt{N} \frac{1}{\sqrt[4]{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_g}\right)^2}} \quad [V] \tag{15 a,b,c}$$

Die magnetischen Komponenten in der Querschnittsebene:

$$\mathcal{H}_r = \frac{3{,}68}{d} K_2 \cdot J_1'\left(3{,}7\,\frac{r}{d}\right) \cos\varphi$$

$$\mathcal{H}_\varphi = \frac{K_2}{r} \cdot J_1\left(3{,}7 \cdot \frac{r}{d}\right) \sin\varphi$$

Die Flächenstromdichte des Längsstromes = Strom pro cm Leiterbreite:

$$J_z = \mathcal{H}_\varphi = 1{,}166 \frac{K_2}{d} \sin\varphi$$

$$K_2 = 9{,}065 \sqrt{N} \sqrt[4]{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_{gr}}\right)^2} \quad [A] \tag{16 a...d}$$

Axiale magnetische Komponente:

$$\mathcal{H}_{z} = K_3 \cdot J_1\left(3{,}7\,\frac{r}{d}\right) \cos\varphi$$

Die Flächenstromdichte des Zirkularstromes:

$$J_\varphi = \mathcal{H}_z = 0{,}582\, K_3 \cos\varphi$$

$$K_3 = \frac{0{,}14}{d} \frac{\lambda}{d} \sqrt{N} \frac{1}{\sqrt[4]{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_{gr}}\right)^2}} \quad \left[\frac{A}{cm}\right] \tag{17}$$

Für den kreisförmigen Querschnitt bei E_{01}-Erregung: $\lambda_g = 1{,}31\ d$ (z.B. von Bedeutung für kapazitive Drehkupplungen, da rotationssymmetrisch).

Elektrische und magnetische Komponenten in der Querschnittsebene:

$$\mathcal{E}_r = K_1 \frac{4{,}8}{d} \cdot J_1'\left(4{,}8\,\frac{r}{d}\right); \quad \mathcal{E}_\varphi = 0$$

$$\mathcal{H}_r = 0; \quad \mathcal{H}_\varphi = K_2 \frac{4{,}8}{d} J_1'\left(4{,}8\,\frac{r}{d}\right) \tag{18 a...c}$$

$$K_1 = 12{,}4 \sqrt{N} \sqrt[4]{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_{gr}}\right)^2} \quad [V]$$

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Flächenstromdichte J = Strom je cm Leiterbreite, nur axiale Wandströme

$$J_\varphi \cdot \mathfrak{H}_z = 0 \; ; \; J_z = \mathfrak{H}_\varphi = \frac{2,5}{d} K_2 \qquad K_2 = 0,033 \sqrt{N} \frac{1}{\sqrt[4]{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_g}\right)^2}} \; [A] \quad (19\,a...b)$$

Die axiale elektrische Feldstärke (da rotationssymmetrisch, unabhängig von φ):

$$\mathfrak{E}_z = K_3 \cdot J_0 \left(4,8 \frac{r}{d}\right) \; ; \quad K_3 = \frac{45,5}{d} \frac{\lambda}{d} \frac{\sqrt{N}}{\sqrt[4]{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_g}\right)^2}} \left[\frac{V}{cm}\right] \quad (20\,a...b)$$

3a. <u>Der Wasserleistungsmesser A:</u>

Der Leistungsmesser A beruht auf dem kalorimetrischen Prinzip. Es ist vorgesehen, ihn an rechteckige Hohlleiter anzuschliessen, in denen die H_{10}-Wellenform angeregt wurde. Der zur Anwendung kommende Querschnitt beträgt 34 x 72 mm. Die Übertragungseigenschaften dieses Profils sind in Anlage 11 aufgetragen. Damit ist der mögliche Frequenzbereich von 8...12 cm bestimmt.

Es ist ein Absorptionsleistungsmesser ohne Anpassungsglieder, dessen Absorptionskörper ein im Leitungszug liegender Wassermantel von gleichem Querschnitt ist. Es sind in der Literatur verschiedentlich Wasserleistungsmesser bekannt, bei denen sich das Wasser als Dielektrikum im metallischen Hohlrohr befand. Die erforderliche Anpassung (die jedoch nur für einen schmalen Bereich gültig war) wurde durch einen $\lambda/2$ - langen Trolitul - körper hergestellt.

Die Bilder15 a und b zeigen die Vorder- und Rückseite des Gerätes. Die Wirkungsweise kann am besten mit der Abbildung Anlage 7 erläutert werden: Der Leistungsmesser besteht aus einem Anschlußstutzen (1) für den Hohlleiter. An diesen schliesst sich ein Hohlkörper (2) aus "Schamigelit) ($\varepsilon = 1,7$) an, dessen Aussenmasse gleich den Innenmassen des Hohlleiters sind. Dieser Körper wird von einem Wassermantel umgeben, so dass dieser die Fortsetzung des Hohlleiters bildet.

Die Stärke des Wassermantels ist 1 cm, so dass das Hochfrequenz - Wechselfeld darin richtig abklingen kann (s.Abb. 17).

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Laborversuche mit einem dickeren Mantel ergaben keine anderen Meßwerte.

Die in den Wassermantel eindringende und infolge der geringen Leitfähigkeit in Wärme-Energie umgesetzte HF-Energie wird durch die angezeigte Temperaturerhöhung gemessen. Der Wassermantel wird nun von Wasser durchströmt, so dass die in Wärme umgesetzte Leistung proportional der in der Zeiteinheit durchströmenden Wassermenge und deren Temperaturerhöhung ist.

Eine wesentliche Bedingung für die Genauigkeit der vorzunehmenden Messungen ist die Beschickung des Meßgerätes mit Wasser konstanter Temperatur und Durchflussgeschwindigkeit.

Deshalb ist über dem Meßgerät ein Wasserkasten (4) vorgesehen, der 2 Kammern (5/6) enthält. In die erste Kammer (5) strömt laufend Wasservein. Mit Hilfe einer durch ein Kontaktthermometer (7) über ein Relais (8) gesteuerten Heizeinrichtung (9) wird das Wasser in dieser Kammer auf Zimmertemperatur vorgewärmt. Hiermit tritt das Wasser in die zweite Kammer (6) über, in welcher das Niveau durch eine direkt zum Abfluss führende Überlauföffnung (11) auf gleicher Höhe gehalten wird.

Durch eine Rohrleitung (12) fliesst das Wasser in den eigentlichen Meßkasten (13), wo es den bereits vorher erwähnten Absorptionskörper bildet. Um Wärmeverluste zu vermeiden, ist der Meßkasten zu A wärmeisoliert und hochglänsend vernickelt.

Das über den Hahn (14) abfliessende Wasser fliesst durch einen Durchflussmengenmesser (15) und wird dann erst dem Abfluss zugeleitet.

Der Durchflussmengenmesser besteht aus einem Meßzylinder, der mit einer auswechselbaren Düse (17) ausgestattet ist. Je nach der Menge des pro Zeiteinheit durchfliessenden Wassers stellt sich durch die Stauwirkung an der Düse eine Wassersäule bestimmter Höhe ein. Die Höhe dieser Wassersäule kann in einer Teilung in mm abgelesen werden. Hieraus und aus dem Düsenquerschnitt kann dann auf Grund einer Eichung die in der Zeiteinheit durchfliessende Wassermenge bestimmt werden.

Mit 2 auf 0,05° C genauen Thermometern wird die Temperatur des

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3 STAT

zum Meßkasten zufliessenden und aus ihm abfliessenden Wassers bestimmt.

Die in dem Meßgerät umgewandelte Leistung ergibt sich dann nach der Formel, in der Q die je Sekunde durch das Meßgerät strömende, in cm^3 gemessene Wassermenge und Δt die in °C gemessene Temperaturerhöhung bedeuten:

$$N\,[W] = 4{,}184 \left[\frac{W\,sec}{cm^3\,°C}\right] \cdot Q \left[\frac{cm^3}{sec}\right] \cdot \Delta t\,[°C] \qquad (21)$$

Ableitung der Formel:
Nach Dr. U.Stille "Tabelle der Formelzeichen und Einheiten" ist 1 $kcal_{15°}$ = 426,84 mkg = 4185,9 Erg = 4184,7 Wsec.

Die bei Erwärmung des Wasserkastens entwickelte Wärmemenge:

$$Q\,[kcal] = G\,[kg] \cdot \Delta t\,[°C] \cdot c_Q \left[\frac{kcal}{kg\,°C}\right] \qquad c_Q = 1 \frac{kcal}{kg\,°C}$$

Wird in der Zeiteinheit die Wassermenge G^+ erwärmt, so wird dabei die Wärmemenge Q^+ in der Zeiteinheit benötigt

$$Q^+ \left[\frac{kcal}{sec}\right] = G^+ \left[\frac{kg}{sec}\right] \cdot \Delta t \cdot c_Q$$

Das elektrische Wärmeäquivalent ist

$$c_N = 4184{,}7 \frac{W\,sec}{kcal}$$

Die in Wärme umgesetzte Leistung ist damit:

$$N\,[W] = Q^+ \left[\frac{kcal}{sec}\right] \cdot c_N \left[\frac{W\,sec}{kcal}\right]$$

$$= G^+ \left[\frac{kg}{sec}\right] \cdot \Delta t\,[°C] \cdot c_Q \left[\frac{kcal}{kg\,°C}\right] \cdot c_N \left[\frac{W\,sec}{kg\,°C}\right]$$

da $\gamma_{Wasser} = 1 \frac{kg}{dm^3}$ wird statt G^+ die sekundliche Wassermenge $Q \left[\frac{cm^3}{sec}\right]$ gesetzt. Damit

$$N\,[W] = 4{,}184 \left[\frac{W\,sec}{cm^3\,°C}\right] \cdot Q \left[\frac{cm^3}{sec}\right] \Delta t\,[°C]$$

Bedienungshinweise:

Zu Beginn einer Messung sind nachstehende Massnahmen durchzuführen:

1) Wahl der Düse: Es sind 2 Düsen vorgesehen. Die kleine Düse (Düse I mit 1,1 mm Ø) dient zur Leistungsmessung bis 200 W.

Die grosse Düse (Düse II mit 1,9 mm Ø) ist für Leistungen > 200 W vorgesehen. Die Wassermenge ist so einzustellen,

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

dass die Endtemperatur unter 50° C liegt. Sie ist andererseits so gross zu halten, dass sich in dem Durchflussmengenmesser eine Wassersäule von mind. 50 mm Stauhöhe ergibt, so dass die Wassersäule hinreichend genau abgelesen werden kann.

Durchströmungsgeschwindigkeiten von mehr als 5 cm^3/sec ergeben sich nur bei ungewöhnlich hohen Wasseranfangstemperaturen oder beider Messung mittlerer Leistungen von mehr als 500 W. Das Arbeiten mit grossen Wärmeunterschieden ($\Delta t > 15°$ C) ist nach Möglichkeit zu vermeiden, da sich dann Meßfehler einstellen, die durch Wärmeabgabe nach aussen bedingt sind. Bei zu kleinen Erwärmungen fallen andererseits Ablesefehler und Schwankungen der Anfangstermine zu stark ins Gewicht.

2) Der Wasserzufluss ist im Interesse einer möglichst genauen Vorwärmung des Wassers auf geringe Überlaufmenge einzuregulieren.

3) Das Kontaktthermometer muss auf Einschalten des Thermostaten bei Zimmertemperatur eingestellt werden.

4) Mit Hilfe der Libellen muss das Gerät genau waagerecht eingerichtet werden, damit sich besonders im Wasserkasten keine Luftblasen festsetzen können, die das gleichmässige Durchströmen des Wassers darin behindern können.

5) Nach Erreichen konstanter thermischer Verhältnisse, d.h. bei Gleichheit von Anfangs- und Endtemperatur und konstanten Wasserströmungsverhältnissen (konstanter Stauhöhe), ist mit der Messung zu beginnen.

6) Es ist der Generator mit der zu bestimmenden Leistung einzuschalten und abzuwarten, bis sich ein stationärer Zustand einstellt, was sich dadurch anzeigt, dass sich die Differenz zwischen Anfangs- und Endtemperatur nicht mehr ändert.

7) Nach Erreichen des stationären Zustandes sind durch Ablesung der Anfangs- und Endtemperatur und der Stauhöhe der Wassersäule im Meßrohr die eigentlichen Meßwerte festzustellen.

3b. Der Wasserleistungsmesser B:

Das Gerät B entspricht in Aufbau und Wirkungsweise voll dem Gerät A, ist jedoch für einen kürzeren Wellenbereich (2,5...4 cm)

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

vorgesehen und den dabei entsprechend kleineren Leistungen nach dimensioniert. Es können damit Leistungen von 5..,100 W gemessen werden. Je nach eingestellter Wassermenge können auch noch höhere Leistungen gemessen werden. Nach oben ist die Leistungsmessung durch die Bedingung begrenzt, dass die End-Temperatur 50° C nicht überschreitet und dass innerhalb des Hohlrohres keine Spannungsüberschläge erfolgen können, was besonders bei Impulsbetrieb von Fall zu Fall ermittelt werden muss (siehe Seite 15, Allgemeines über Hohlleiter).

Die Übertragungseigenschaften des Hohlleiter-Profiles des Querschnittes 23 x 10 mm sind wieder im Kurvenblatt Anl. 11 aufgetragen. Dem kleineren Hohlrohrprofil entsprechend ist auch der Meßkasten kleiner gehalten. Die innere Begrenzung des Wassermantels wird von einem Trolitulhohlkörper gebildet.

Die Dicke des Wassermantels ist > 5 mm. Die grösste Eindringtiefe beträgt bei $\lambda = 4{,}0$ cm, $d = 2$ mm, so dass die HF-Energie vollständig vom Wasserkörper aufgenommen werden kann.

Um bei den kleineren Meßleistungen noch genügende Werte für Δt zu erhalten, werden kleinere Düsen eingesetzt (1,0 und 1,4 mm Ø) bei gleichen Stauhöhen wird dadurch die durchströmende Wassermenge herabgesetzt.

Die Bedienung und Messung erfolgt wie bei Gerät A.

4. Hohlrohr-Leistungsmesser nach dem Lufthermometer-Prinzip

Dieser Leistungsmesser arbeitet nach dem kalorimetrischen Lufthermometer-Prinzip. Er dient zum Messen von HF-Leistungen von ca. 10...500 mW bei Wellenlängen von $\lambda = 2{,}5...4$ cm.

Die Meßinstrumente nach dem Lufthermometer-Prinzip stellen eine Verfeinerung der Hitzdraht-Meßinstrumente dar, bei denen die Erhitzung nicht so weit getrieben wird, sondern andere empfindlichere Indikatoren verwendet werden.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Ein Luftthermometer-Strommesser mit Kapillaren-Anzeige wurde von Espinoza de los Monteros im Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie Bd. 1, 1908, S. 323 beschrieben. Bei einer Empfindlichkeit von $4 \cdot 10^{-5}$ W konnten Leistungen bis 10^{-5} W gemessen werden.

Ein verbessertes Gerät wird von Scheibe im Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie Band 25, 1925, S. 12 beschrieben. Danach sind Leistungsmessungen bis $1 \cdot 10^{-5}$ W mit einer Genauigkeit von ca. 2 % bei $f = 5 \cdot 10^{8}$ Hz möglich.

Zur Ablesung der Kapillarensbände sind jedoch Mikro-Optiken erforderlich. Ebenso nur für Laboratoriumsmessungen geeignet sind in den letzten Jahren beschriebene Geräte, bei denen die Anzeige der entwickelten Wärme nach der Schlierenmethode erfolgt.

Die Aufgabe bestand darin, einen Leistungsmesser zu entwickeln, der für Laboratorien und Prüffelder zum Messen der von Zentimeter-Generatoren abgegebenen Leistung geeignet ist.

Für die Ausführung kam nur ein Absorberleistungsmesser mit breitem Bereich in Frage, d.h. ohne hochfrequenzmässige Abstimmung. Es muss deshalb eine geringe Fehlanpassung in Kauf genommen werden, deren Fehler aber geschätzt werden kann. Nach Anl. 19 ist die Fehlanpassung im Mittelbereich (3,0...3,4 cm) $< 1{,}1$. An den Grenzen des Bereiches wurden $m = 1{,}8$, dann wird die Leistungsfehlmessung ca. 8 % betragen. Bei einer vorgesehenen Meßgenauigkeit von 10 % ist also der gesamte Bereich zu benutzen.

Der Wellenlängenbereich von 2,5...4 cm ergibt sich aus den Hohlrohrabmessungen des vorgesehenen Profils 10 x 23 mm^2 und der H_{10}-Wellenform zwischen den Grenzwellen der H_{10}- und H_{20}-Wellen.

Der Meßbereich von 10...500 mW wird dadurch gegeben, dass der untere Grenzwert durch die Empfindlichkeit bzw. Frequenzkonstanz des Anzeigeteiles, der obere Grenzwert durch diejenige vom Absorber umsetzbare Leistung bestimmt ist, bei der noch kein zerstörender thermischer Einfluss auf den Absorber eintritt.

1) <u>Die Dimensionierung des Absorbers:</u>
   Der Hohlrohr-Absorber besteht aus einem Stück Hohlleiter, der in der Mitte zwischen den Breitseiten eine Längsfolie mit

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Kohlewiderstandsschicht trägt, durch die der $\vec{E}$-Vektor der Feldstärke kurzgeschlossen wird. Die Länge der Folie und der Flächenwiderstand wurde experimentell ermittelt (siehe Anl. 16 und 18). Als günstigste Folie wurde eine solche gefunden, die auf den vorderen 75 mm Länge einen Flächenwiderstand von $\rho_1 = 1000 \frac{\Omega}{cm^2}$, auf den hinteren 25 cm ein $\rho_2 = 750 \frac{\Omega}{cm^2}$ trägt. Diese Folie zeigt die in Anl. 19 aufgezeichnete Frequenzabhängigkeit.

Diese Folie ist in Längsnuten und Keilleisten gefasst und gleichzeitig wärme- und gleichstrommässig isoliert.

2) Das Grundprinzip des Gerätes:

Die dem Leistungsmesser zugeführte HF-Energie wird in der Widerstandsschicht der Folie in Wärme umgesetzt. In dem durch eine Glimmerscheibe nach aussen luftdicht abgeschlossenen Raum erwärmt sich die Luft und dehnt sich dabei aus, dadurch wird in einer Meßdose eine dünne Membran aus ihrer Nullage gebracht.

Diese Meßdosenmembran bildet die Trennwand zwischen dem mit Hochfrequenz beaufschlagten Hohlrohr-Absorber und einem mechanisch, thermisch und elektrisch vollkommen gleichartig aufgebauten 2. Hohlraumkörper mit Folie, dem eine derartig grosse Gleichstromleistung zugeführt wird, dass die damit erzeugte Erwärmung und Ausdehnung der Luft die Membran in die Nullagezurückführt. Die hierzu erforderliche meßbare Gleichstromleistung ist dann gleich der dem erstgenannten Absorber zugeführten, zu messenden HF-Leistung.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Den für die Erreichung der Meßgenauigkeit wichtigsten Teil des Gerätes stellt die Anzeige der Lage der Membran-Mitte dar. Diese erfolgt mit Hilfe eines HF-Schwinggebildes. Die Membran stellt den beweglichen Teil zweier veränderlicher Kondensatoren dar, deren feste Platten durch je einen Luftspalt getrennt zu beiden Seiten der Membran angeordnet sind. Die beiden Kondensatoren sind Bestandteile zweier Parallelschwingkreise, deren Resonanzfrequenz bzw. Scheinwiderstand durch die Kapazitätsänderung geändert werden

24

Die Schwingkreise steuern eine beide Kreise elektronisch koppelnde Pentode; der sich daraus ergebende Anodenstrom

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3 STAT

dient als Mass für die Kapazitätsänderung und wird zur Steigerung der Empfindlichkeit in einer Brückenschaltung zur Anzeige gebracht.

Durch die Zurückführung des Instrumentenausschlages mittels Kompensation in die Ausgangsstellung sowie infolge des völlig gleichartigen und symmetrischen Aufbaues der Meßkammern, die thermisch auf dem gleichen Potential gehalten sind, wirken sich barometrische und thermische Einflüsse in gleicher, aber entgegengesetzter Grösse auf die Meßkammern aus, sind also ohne Einfluss auf die Messung.

Die Wirkungsweise der Anzeige:

Die Meßdose (siehe Abb. 23, Seite 24) ist ein metallischer Hohlkörper, der durch eine dünne Metallfolie 1 (Membran) in zwei gleiche Kammern geteilt ist. Elektrisch isoliert befinden sich zu beiden Seiten der Membran je eine Platte 2 und 3 planparallel zur gespannten Membranfläche. Diese Platten bilden mit der Membran zwei gleich grosse Kapazitäten. Um möglichst grosse C-Änderung bei Auslenkung der Membran aus ihrer Ruhelage zu bekommen, ist der Abstand zwischen Membran und Platte so klein wie möglich gemacht. Die untere Grenze ist hierbei gegeben durch die vom Anzeigegerät herrührende, zwischen Membran und Platte auftretende hochfrequente Spannung, die sich auch bei einer grössten, dem Hohlrohrabsorber zugeführten HF-Leistung und damit bei einer grösstmöglichen Membrandurchbiegung noch keine Überschläge zwischen Membran und fester Platte herbeiführen darf, zwischen denen eine HF-Scheitelspannung von ca. 100 V liegt.

3) Das Anzeigegerät

Das Anzeigegerät soll es ermöglichen, kleinste, durch eine Durchbiegung der Meßdosen-Membran verursachte Kapazitätsänderungen anzuzeigen und somit die Nullage der Membran zu überwachen. Die Grösse der noch meßbaren Kapazitätsänderungen beträgt ca. $1 \cdot 10^{-3}$ pF.

Es wäre möglich, die Empfindlichkeit noch zu steigern. Dies würde jedoch einen unverhältnismässig hohen Aufwand zur Frequenzstabilisierung erfordern.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Die Lage der Meßdosenmembran beeinflusst durch ihre veränderliche Kapazität den Scheinwiderstand eines annähernd auf die Frequenz f_o eines Oszillators abgestimmten Parallel-schwingungskreises L_1 C_1, der im Anodenkreis einer Pentode (Typ 6 AC 7) liegt und durch den Betrag seines Widerstandes $\mathfrak{Z}$ den Anodenstrom J_a bestimmt. Aus dem jeweiligen Wert des Anodenstromes J_a kann dann auf C_1 geschlossen werden. Um eine stärkere Anodenstromänderung zu erzielen, wird zusätzlich die Oszillatorfrequenz geändert. Dazu dient die ebenfalls von der Membranstellung abhängige Kapazität C_2. Diese ist Bestandteil des Oszillatorschwingkreises L_2, C_2 selbst und beeinflusst die Oszillatorfrequenz f_o, und zwar in dem Sinne, dass die durch C_1 hervorgerufene Anodenstromänderung noch vergrössert wird ($L_2 \sim 1$ mHy, $C_2 \sim 15$ pF).

Zur Schwingungserzeugung wird ein elektronengekoppelter Oszillator in Dreipunktschaltung verwendet. Das schwingungsanregende System besteht aus Kathode, Steuer- und Schirmgitter der Pentode.

Durch die beiden hochfrequenzmässig geerdeten Elektroden (Schirmgitter und Bremsgitter) ist der Anodenkreis kapazitiv vollkommen vom Oszillator getrennt. Eine induktive Kopplung ist durch geeignete Abschirmung beider Kreise unterbunden, so dass schädliche Rückwirkungen beider Kreise aufeinander, wie Zieherscheinungen und Koppelwellen, praktisch vermieden werden. Die Steuerung des Anodenkreises erfolgt nur über den Elektronenstrom im Innern der Röhre. Eine derartige Schaltung ist bei einfachem Aufbau besonders frequenzstabil.

Der Kreis L_2 C_2 bestimmt die Frequenz des Oszillators. Der Anodenkreis l_1 C_1 ist auf eine f_o benachbarte Frequenz abgestimmt. Er kann auch auf die doppelte Frequenz $2f_o$ abgestimmt werden, um geringste Rückwirkungen auf den Oszilla-

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

torkreis zu vermeiden.

Die Abhängigkeit des Anodenstromes J von C_1 ergibt sich aus der nachstehenden Überlegung:

Die Werte von f_o (C_2 L_2) sind so gewählt, dass C an der steilen Flanke der J_a-Kurve liegt und sich somit gut meßbare Effekte ergeben.
Dabei ist der Arbeitspunkt an der Flanke so gewählt, dass durch die mit C_1 sich gleichzeitig jedoch im entgegengesetzten Sinne ändernde Kapazität nicht soweit gegenüber eine Frequenz f_o verstimmen wird, dass der Arbeitspunkt wieder an eine flache Stelle der Kurve verlegt ist. Es wird dies bei den kleinsten Kapazitätsänderungen jedoch praktisch noch nicht der Fall sein.
Diese Wirkung ergibt sich aus nebenstehender Abbildung: Dabei bedeuten:

f_{o1} = Resonanzfrequenz des Anodenkreises

f_{o2} = Oszillatorfrequenz im Ruhezustand des Meßstromes

Δf_o = Verstimmung beider Kreise gegeneinander im Ruhezustand der Membran

f_1 = Resonanzfrequenz des Anodenkreises nach Einwirkung einer HF-Leistung auf den Absorber II

f_2 = Resonanzfrequenz des Oszillators nach Einwirkung einer HF-Leistung auf Absorber II.

$$\Delta f_1 = f_{o1} - f_1 \qquad \Delta f_2 = f_2 - f_{o2}$$

Aus dem Schaubild folgt: Wenn infolge Durchbiegung der Membran der Anodenkreis um Δf_1 geändert wird, so vergrössert das die Kapazität C_1, so dass der Scheinwiderstand von L_1 C_1

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

sich für die Frequenz des Oszillators verringert. Es wird mehr Anodenstrom J_a fliessen.

Es ergibt sich ein neuer Arbeitspunkt gegenüber dem, bei welchem der Anodenkreis mit f_{01} um Δf gegen die Oszillatorfrequenz f_{02} verstimmt ist.

Die Kapazität C_2 verringert sich gleichzeitig, das bedeutet, dass die Oszillatorfrequenz steigt. Der Unterschied zwischen der jetzigen Oszillatorfrequenz und der Resonanzfrequenz des Kreises L_1 C_1 gegenüber dem Anfangszustand wird also noch grösser, als wenn nur C_1 beeinflusst würde, so dass sich der Arbeitspunkt 2 ergibt. Daraus folgt, dass durch die gegenläufige Beeinflussung der beiden Kapazitäten C_1 und C_2 eine erhebliche Anodenstromänderung zustandekommt.

Um geringste Änderungen des Anodenstromes J_a gegenüber einem Ausgangszustand mit genügender Genauigkeit zur Anzeige bringen zu können, ist eine Brückenschaltung angeordnet, über die die Anodenspannung an die Oszillatorröhre gelegt wird und in der der Anodenruhestrom nicht angezeigt wird. Die Widerstände W_3, W_4, W_9 und R_3 (letzterer bestehend aus der Röhre Rö 1 und dem Anodenkreis L_1 C_1) bilden eine reine Gleichstrombrückenschaltung, in deren Nullzweig ein empfindlicher Strommesser (max. 25 µA) Ms 1 liegt. Die Röhre mit dem Anodenkreis stellt in dieser Brücke einen nichtlinearen Widerstand dar, ebenso der Brückenzweig, in dem parallel zu W_9 der Schirmgitter-Innenwiderstand liegt.

Durch geeignete Dimensionierung der Brückenwiderstände ist erreicht, dass eine Anodenstromänderung J_a der Röhre im Nullzweig der Brücke praktisch in gleicher Grösse zur

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Anzeige gelangt. Die Brückenhälfte W_3R_3 ist = dem fünffachen Widerstand der Brückenhälfte W_4W_9.

Der Brückenabgleich erfolgt durch den veränderlichen Widerstand W 4.

W_3 = 25 kΩ W_4 = 0...5 kΩ

W_9 = 10 kΩ

Die Frequenzkonstanz des Oszillators ist durch Verwendung des Prinzips des elektronengekoppelten Oszillators, durch sorgfältigen Aufbau und geeignete Wahl bzw. Kombination der Temperaturkoeffizienten der Schwingkreisspulen und der Kondensatoren so hoch, dass am Brückeninstrument während des Meßvorganges keine störenden Frequenzschwankungen bemerkbar sind.

Die Frequenzkonstanz beträgt während der Dauer einer Messung ca. $1 \cdot 10^{-4}$ bei Schwankung der Netzspannung um ± 2 %. Bei stärkeren Netzschwankungen müsste vorher eine Netzspannungsgleichhaltung vorgesehen werden.

Die Güte der verwendeten Schwingkreisspulen beträgt ca. 200. Dabei ist das Anzapfungsverhältnis der Rückkoppelwindungen des Oszillators nicht grösser als 1:10, um eine grosse Entdämpfung dieses Schwingungskreises zu vermeiden. Es besteht somit die Möglichkeit, dass der Oszillator nicht mehr im Triodensystem anschwingt, sondern sich über die Gitter-Anodenkapazität (Huth-Kühl-Schaltung) und die unvermeidlichen Schaltkapazitäten zusammen mit dem Anodenkreis plötzlich auf einer benachbarten Frequenz erregt.

Die Oszillatorfrequenz beträgt ca. $1{,}5 \cdot 10^6$ Hz. Zur genauen Einstellung des Arbeitspunktes an der Flanke der Resonanzkurve ist die Oszillatorfrequenz durch einen von aussen zugänglichen Trimmerkondensator C_7 in geringen Grenzen veränderlich. Infolge der nichtlinearen Brückenwiderstände ver-

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

schiedener Auf- bzw. Entladezeiten der im Anzeigegerät vorhandenen Kondensatoren und infolge der thermischen Trägheit der Kathode wird die Brücke beim Ein- und Ausschalten des Gerätes sehr stark aus dem Gleichgewicht gebracht. Es ist deshalb ein Schalter S_3 vorgesehen, in dessen Stellung 1 das empfindliche Brückeninstrument kurzgeschlossen wird. In Stellung 3 des Schalters fliesst über das Instrument der volle Brückenstrom. In der Mittelstellung des Schalters ist ein Widerstand W5 (200 Ω) zum Instrument (R_i = 2 kΩ) parallel geschaltet, wodurch die Empfindlichkeit auf ca. 1/10 herabgesetzt wird.

Die Arbeitsweise der gesamten Einrichtung erfordert eine konstante Temperatur aller Geräteteile. Ein solcher Zustand wird nach ca. 30' Min. erreicht. Dagegen erfordert jede Messung eine Einstellzeit von ca. 10...15 Min.

Die Hilfsspannungen für die Anzeige werden zwei Netzteilen entnommen, die der Temperaturfehler wegen in besonderen Gehäusen untergebracht sind. Dem Netzgerät 1 werden die benötigten Heiz- und Anodenspannungen entnommen. Eine besonders sorgfältige Glättung ist nicht erforderlich, da eine geringe Brumm-Modulation keine Störung hervorruft, denn es wird die Anzeige nur hochfrequenzmässig abgeglichen.

Dem Netzgerät 2 wird die Gleichstromleistung entnommen, die zur Kompensation im Absorber 1 dient. Über einen Transformator erfolgt Vollweggleichrichtung mit Trockengleichrichtern und Glättung durch einen Elektrolytkondensator von 50 µF. Die Leerlaufspannung beträgt ca. 36 V, bei maximaler Belastung mit 1 A ca. 20 V als Klemmenspannung.

Zur Regelung dienen ein Spannungsteiler als Grobregler und ein Serienwiderstand 5 Ω als Feinregler.

Um bei den geringen Strömen (10...100 mA, da R_{Fol} ca. 100 Ω), die bei den kleinen Leistungen fliessen, keinen Meßfehler durch den Spannungsmesser zu erhalten, ist ein solcher mit $R_i \geq 10\,000 \frac{\Omega}{V}$ zu verwenden. Der Meßbereich muss 1...10 V betragen. Beide Instrumente müssen die Werte noch mit einer Genauigkeit von ± 2 % angeben können.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3 STAT

Gang einer Messung:

1) Nach Einschalten beider Netzgeräte ca. 30 Min. Einlaufzeit verstreichen lassen, damit konstante Oszillatorfrequenz erreicht wird, dabei Regler auf 0 stellen und Empfindlichkeitsschalter auf 0 drehen.
2) Empfindlichkeitsregler des Brückeninstrumentes auf Stellung 2 drehen und einen Ausschlag etwa in Skalenmitte am Brückenwiderstand W_4 einstellen.
3) Resonanzabstimmung durch Verstellen des Zusatztrimmers. J_2 muss kleiner werden und ein scharfes Minimum besitzen. Daher eventuell Brückenwiderstand W_4 nachstellen, damit Anzeige innerhalb der Skala bleibt. Nachregeln W_4, bis Ausschlag ca. 10 Skalenteile über dem Minimum liegt, damit beim Umschalten auf volle Empfindlichkeit der Wert für J_2 innerhalb der Skala bleibt. Ausschlag von J_2 notieren.
4) HF-Generator mit der zu messenden Leistung zuschalten. Der Zeiger des Brückeninstrumentes wandert nach rechts. Vor dem Anschlag ist die geringe Empfindlichkeit einzustellen.
5) Dem Absorber 1 ist jetzt Gleichstrom zuzuführen, der über Grob- und Feinregler eingestellt wird.

   Dabei ist der vorher notierte Ausschlag des Brückeninstrumentes wiederherzustellen.

   Ist ein stationärer Zustand eingetreten, wird J_2 bei voller Empfindlichkeit des Brückeninstrumentes korrigiert.

   Ist die Anzeige des Brückeninstrumentes grösser als J_2, so ist die zugeführte Gleichstromleistung des Absorbers 1 zu gering, ist sie kleiner als J_2, so ist N= zu gross.
6) Ablesen der Gleichstromwerte U und J, damit Leistungsbestimmung

$$N\ (mW) = U\ (V) \cdot J\ (mA)$$

7) Anzeigeempfindlichkeit des Brückeninstrumentes auf 0 stellen, Gleichstromheizung des Absorbers 1 abschalten. Zeitabstand bis zur nächsten Messung ca. 15 Min.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

II) Abstimmbare Absorptionsleistungsmesser.

Meß-Prinzip:

Als Indikatoren für die abstimmbaren Leistungsmesser kommen in Frage:

Thermo-Elemente, Bolometer und Meßlampen

Diese Hochfrequenzverbraucher besitzen einen mehr oder weniger von Z abweichenden Eingangswiderstand . Bei der Messung der Leistung mit einem Absorptionsleistungsmesser war jedoch vorausgesetzt, dass derselbe Anpassungszustand wie mit dem vorher angeschlossenen Verbraucher erreicht wird. Es ist deshalb ein Übertragungsvierpol zwischen Anschluss und Verbrauchselement vorzusehen, der es gestatten muss, für den vorgegebenen Frequenzbereich die optimale Anpassung (meßtechnisch leicht mit der Welligkeit $m = \frac{A_{max}}{A_{min}}$ zu erfassen) ohne nennenswerte Transformationsverluste herzustellen.

Die Wiensche Baretter Brücke ist die älteste bekannte Meßvorrichtung, bei der die Bestimmung der Wechselstromleistung in einem Hilfsstromkreis (Wheatstone'sche Brücke) mit Gleichstrom erfolgt.

Es muss jedoch dafür gesorgt werden, dass nicht Gleichstrom des Hilfskreises in den Wechselstromkreis und umgekehrt abfliessen kann. Bei niedrigeren Frequenzen ist es einfacher, die Anpassung herzustellen, als diese Trennung durchzuführen, während bei sehr hohen Frequenzen die Anpassung schwieriger herzustellen ist, als die Trennung der Kreise.

Wie später nochnäher begründet wird, eignen sich Thermoelemente nur für einen relativ geringen Leistungsbereich, sie erfordern dabei zur Anzeige hochempfindliche Fadengalvanometer bzw. eine

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

umfangreichere Kompensationsschaltung.

Die Bolometer sind stromabhängige Widerstände, entweder metallische oder Halbleiter, die eine bestimmte Gleichstrom-Vorbelastung aufnehmen, die durch Strom und Widerstand mit guter Genauigkeit bestimmt werden kann. Bei Beaufschlagung mit HF-Leistung ändert sich der Widerstand und damit die aufgenommene Gleichstromleistung. Mit Hilfe der Brückenschaltung kann man den Widerstand auf den gleichen Wert zurückregeln, dann wird der Unterschied der Gleichstromleistungsaufnahmen gleich der zu messenden HF-Leistung gesetzt. Für kleinere Leistungen (< 1 mW) ist bes auch möglich, die Anzeige des Querstromes der verstimmten Brücke unmittelbar zur zugeführten HF-Leitung in Beziehung zu bringen.

Bei den photometrischen Geräten wird zugunsten des einfacheren Aufbaues auf die Genauigkeit der Brückenschaltung verzichtet. Es erfolgt dafür über eine Photozelle und deren Strom ein Helligkeitsvergleich eines Glühfadens, einmal mit Hochfrequenz-Energie und zum anderen Mal mit Gleichstrom erhitzt.

Für die drei Indikatoren Thermoelemente, Bolometer und Meßlampen sind deshalb die Probleme der Anpas ung bei HF und des unterschiedlichen Verhaltens bei Hochfrequenz und bei Gleichstrom (Stromverteilung und Stromverdrängung) gleich und sollen nachstehend allgemein untersucht werden.

Die Genauigkeit der Leistungsmessung wird durch mehrere Fehlerursachen bedingt, deren möglicher Einfluss abgeschätzt und berücksichtigt werden muss:

1) Fehler der Gleichstrom-Vergleichsmessung (speziell der Brükkenschaltung) (s. B II-3)
2) Frequenzfehler des HF-Verbrauchers (Bolometer u.a.) (s.B II-4)
   a) Skin-Effekt
   b) Stromverteilung
3) Fehler des Transformationsvierpoles (s.B. II - 5)
   a) Stromverteilung
   b) Ungenügende Transformation
   c) Verluste in den Transformationsgliedern

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

2. Die Indikatoren:

Der Schaltungstechnik der Zentimetertechnik entsprechend müssen die Indikatoren so aufgebaut sein, dass sie unter möglichster Vermeidung von Z-Sprüngen unmittelbar in den Leitungszug eingebaut werden können. Dadurch ergibt sich die nebenstehende Kolbenform, die in gleicher Weise für Thermoelemente und Bolometer zutrifft. Meßlampen, die für die leistungsfähigeren Generatoren mit $\lambda > 8$ cm bestimmt sind, erhalten die Form nach Abb. 35. Die Forderung nach einem möglichst empfindlichen Indikator verlangt es, dass ein möglichst dünner Draht verwendet wird (geringe Wärmekapazität). Die Forderung nach einem möglichst dünnen Draht wird ausserdem noch im Hinblick auf einen möglichst skineffektfreien Heizleiter gestellt, der ausserdem noch im Hochvakuum hängen soll, um die Wärmeableitung zu vermeiden. Nicht zu vermeiden ist jedoch die Wärmeableitung über die Zuleitungen hinweg.

Für die Bolometer kommt zur technischen Verwendung nur Wolfram als Fadenmaterial in Frage. Die untere Grenze des Drahtdurchmessers, der sich noch ohne besonderen Aufwand herstellen und verarbeiten lässt, liegt bei 10 µm. Drähte bis zu 5 µm können durch elektrolytisches Abbeizen noch hergestellt werden, jedoch ist die weitere Verarbeitung (Haltern, Einschmelzen) ausserordentlich schwierig durchzuführen. Die Durchmesserangaben dünner Drähte von ca. 10 µm sind mit einer Toleranz von ± 10 % behaftet. Eine unmittelbare Durchmesserbestimmung ist mit einfachen Meßmitteln nicht mehr möglich, es erfolgt vielmehr eine Berechnung aus dem Gewicht einer bestimmten Länge.

Die Kennlinien und das besondere Verhalten des Wolfram-Vakuum-Bolometers bei Gleichstrom und Hochfrequenz werden in Absatz 4 besonders behandelt.

Neuerdings gelangen auch Halbleiter zur Verwendung, die zum Schutz gegen atmosphärische Einflüsse ebenfalls im Vakuum eingebaut sind. Die Ausgangsstoffe für Halbleiter sind Urandioxyd

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

(wie in "Urdox"-Widerständen) Silizium, sowie dessen Oxyde und Karbide.

Die Halbleiter-Pillen (ca. 2 mm lang) einiger Urdox-Widerstände vom Typ 2113 (max. 2 mA b. ca. 10 kΩ Kaltwiderstand) wurden in die normalen Bolometer-Körper eingesetzt. Die Kennlinien bei Gleichstrom sind in Anlage 20 eingezeichnet. Die Halbleiter zeichnen sich dabei durch eine wesentlich grössere Steilheit gegenüber den Metalldraht-Bolometern aus, die Widerstandsänderung beträgt im Mittel

$$-\Delta R = 4\ \%\ \text{je}\ ^{\circ}C\ \text{Temperatur-Erhöhung.}$$

Bei Temperatur-Erhöhung von C auf 300° C nimmt z.B. ein Halbleiter-Widerstand auf ca. 1/1000 seines Widerstandswertes ab, für den gleichen Temperaturbereich steigt dagegen der Widerstand eines Platinfadens auf das Doppelte an.

Beim Messen kleiner Leistungen von < 20 µW treten immer noch R von einigen Ω auf, die ohne besonderen gerätemässigen Aufwand bestimmt werden können. Ein wesentlicher Vorteil der Verwendung der Halbleiter liegt in dem hohen Widerstand im Zusammenhang mit der Anpassung begründet. Da die Halbleiter meist hohes R_i besitzen, wirken sich Übergangswiderstände in der Halterung nicht so stark aus, wie bei den niederohmigen Metallfaden-Bolometern. Bei Hohlrohr-Anpassungssystemen, deren Leitungswiderstand im Bereich von 400...600 Ω liegt, ist mit Halbleiter-Bolometern ein wesentlich geringerer Übersetzungsfaktor aufzubringen, wodurch sich ebenfalls die Übertragungsverluste verringern.

Bei Halbleitern liegt der spez.Widerstand so hoch, dass sie selbst bei 10^{10} Hz noch als skineffektfrei bezeichnet werden können. Damit entfällt eine, bei den Metallfaden-Bolometern mit mehreren % anzusetzende Korrektor.

Thermoelemente:

Thermoelemente gestatten eine unmittelbare Gleichstrom-Messung der Wechselstromgrössen $J_\sim$ und $N_\sim$ je nach der Eichung. Die bekannteste Form des Thermoelementes ist die vierpolige Ausführung (Bild e in Abb. 34, S 36), beimder das Element unmittelbar mit dem Heizer verschweisst.ist. Da zur Erhöhung der Eichgenauigkeit Eichung mit Gleichstrom angestrebt ist, muss hierbei der Peltier-

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Effekt berücksichtigt werden, der dem Thermo-Effekt entgegengerichtet ist. Bei der Ausführung nach Bild b in Abb. 34 (Fa. LEAK, Kerstem und Block, Berlin-W.) wird durch galvanische Auftrennung diese Schwierigkeit umgangen, ohne dass eine nennenswerte grössere thermische Trägheit hinzukommt. Jedoch ist auch diese Ausführung nicht für Verwendung bei Zentimeterwellen geeignet. Durch kapazitive oder induktive Ableitung der zu messenden Hochfrequenz-Energie über die Elementdrähte des Gleichstromkreises sind Meßfehler möglich, deshalb sollen diese senkrecht zum Heizer stehen. Bei den Frequenzen jedoch, bei denen das Thermoelement in der Form der Glasbolometer (Bild c, Abb. 34) aufgebaut ist, und in den Leitungszug eingesetzt werden muss ($\lambda < 1$ m), wirken die Elementen-Zuleitungen wie eine Schleife und beeinflussen das Feld erheblich, so dass ein anderswertiger Meßfehler entstehen kann. Es kommt deshalb nur noch die zweipolige Ausführung in Frage, bei der das Element selbst zugleich auch den Heizer bildet. Dann muss natürlich noch eine Auftrennung des Gleich- und Wechselstromkreises wie auch beim Bolometer erfolgen.

Aus dem zur Verfügung stehenden Material wurden die verschiedenen Elemente aufgebaut. Als günstigste Zusammenstellung in Hinsicht auf maximale Thermospannung, gute Verschweissbarkeit und Belastbarkeit (bis Rotglut) erwies sich ein Aufbau mit

[illegible] Nickelchrom-Wolframdraht und

[illegible] Nickelchrom-Konstantandraht (geringere Stärke war nicht zu erhalten)

In Bild [illegible] sind die Eichkurven von zwei solchen Thermoelementen aufgezeichnet. Der unterschiedliche Widerstand ist durch die bei [illegible] unterschiedlichen Schweißstellen bedingt. Die Kurven verlaufen im log.-log.-Maßstab linear, was auch der Potenzgesetzen entspricht. Erst nach Einsetzen der Rotglut, bei der eine stärkere Abstrahlung der Wärme einsetzt, beginnen die

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Drähte nicht abschmelzen. Damit ist jedoch die Grenze der thermischen Belastbarkeit erreicht.

Es soll noch untersucht werden, ob und bzw. mit welchem Fehler die Gleichstromeichung des Thermoelementes für die Anzeige bei Hochfrequenz benutzt werden kann. Es wird dabei vorausgesetzt, dass die Gleichstromleistungseichung auf die Hochfrequenzleistung übertragen werden kann, d.h.

$$N_= = N_{HF}$$

$$I_=^2 \cdot R_= = I_f^2 \cdot R_f$$

Die zur Anzeige benutzte Thermospannung ist eine Funktion der Temperatur der Schweißstelle, damit der umgesetzten elektrischen Leistung. Eine Fehlanzeige ist nur insofern möglich, wenn die gleicherweise erzeugte Wärmemenge bei Gleichstrom und Hochfrequenz verschieden abgeleitet wird. Bei dem Arbeitsbereich der Thermoelemente oberhalb der Rotglut ist der Strahlungsanteil gering und deshalb zu vernachlässigen. Da sich das Thermoelement im Vakuum befindet, ist eine Wärmeableitung nur über die Halterung möglich. Da bei HF die Wärmeerzeugung vorwiegend in der durch die Eindringtiefe t gekennzeichneten Randschicht des Leiters erfolgt (z.B. bei λ = 3 cm ist t = 1,2 µm bei Wolfram - draht mit 10 µm Ø und bei T_0 = 273° abs.), ist bei HF mit einer größeren Wärmeableitung zu rechnen. Der dadurch verursachte Fehler liegt bei niederen Fadentemperaturen und λ = 3 cm in der Größenordnung von ca. 5 % (s.Frequenzfehler des Bolometers Anl. 86).

Will man das Therm-Element als Strommesser verwenden, so ist mit erheblichen Frequenzfehlern infolge des Skin-Effektes zu rechnen, wie aus folgender Überlegung ergibt:

I_f = bei Frequenz f angezeigter falscher Strom

$I_=$ = " " wahrer Strom

R_f = Widerstand des Heizers bei Frequenz f

$R_=$ = Widerstand des Heizers bei Gleichstrom

Der prozentuale Fehler

$$\frac{I_= - I_f}{I_=} \cdot 100\,\% = \left(\sqrt{\frac{R_f}{R_=}} - 1\right) \cdot 100\,\%$$

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Besteht der Heizer aus einem runden Draht, so hängt die Stromverdrängung und damit F nur vom Verhältnis des Leiterradius zur Eindringtiefe t ab:

Für Fehler bis zu 10 % wird $F\ (\%) = \left(\frac{r}{t}\right)^4$

s.a. Für Heizer aus Wolfram 10 µm Ø und

	λ = 3 cm:	$\frac{R_f}{R_o} = 2{,}38$;	F_3	50 %
bei T ca. 300° abs	λ = 10 ":	$\frac{R_f}{R_o} = 1{,}45$;	F_{10}	20 %
bei T ca. 550° abs	λ = 3 cm:	$\frac{R_f}{R_o} = 1{,}96$	F_3'	40 %
	λ = 10 ":	$\frac{R_f}{R_o} = 1{,}22$	F_{10}'	11 %

Dieser Frequenzfehler für Strommessung lässt sich z.T. dadurch kompensieren, dass der Aufbau so erfolgt, dass der Heizer eine Parallelkapazität besitzt. Diese Anordnung müsste jedoch bei der gleichen HF geeicht werden, um den richtigen Grad der Kompensation zu ermitteln.

3. Die Gleichstrombrücke und ihre Meßgenauigkeit

Das Bolometer bildet als stromabhängiger Widerstand einen Zweig einer Wheatstone'schen Brücke. Die anderen Zweigwiderstände sind strom- und möglichst temperaturunabhängige Widerstände. Diese Schaltung diente, bevor sie zur Hochfrequenzmessung benutzt wurde, schon seit langem zur Ferntemperatur-, Strahlungsmessung u.a.m. Die Bedingungen, die die Schaltung erfüllen muss, um optimale Ergebnisse zu erzielen (Empfindlichkeit), sind deshalb in der Literatur eingehend behandelt worden (Lit. 7, 8, 12).

Wie die Kennlinie des Bolometers angibt, ist einem bestimmten Strom bzw. Leistung ein bestimmter Widerstand zugeordnet. Der genaue Verlauf dieser Kennlinie wird noch im Abschnitt 4 (S. 51) besonders diskutiert. Der Anfangswiderstand der Brücke wird als der Arbeitspunkt A bezeichnet. Durch Wahl der Vorbelastung N_1 wird A an den steilsten Teil der Kennlinie verlegt.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Für diesen Punkt ist die Brücke abgeglichen. Wird die zugeführte Gleichstromleistung um Δ N erhöht, oder statt der Erhöhung nach dem in Abb. 35 angegebenen Schema eine HF-Leistung Δ N zugeführt, so ändert sich der Bolometer-Widerstand um Δ R in den Wert R_2. Jetzt ist die Brücke verstimmt und es fliesst ein Querstrom. Die Eichung der Brücke besteht nun darin, die grössenmässige Zuordnung zwischen Widerstandsänderung und Brückenquerstrom herzustellen.

Bei Leistungsmessungen mit der Bolometer-Brücke unterscheidet man zwei Verfahren für verschiedene Bereiche

A) Leistungen > 1 mW nach der Substitutionsmethode
B) Leistungen < 1 mW nach der Ausschlagmethode durch Brückenverstimmung.

Zu A: Bei Leistungen > 1 mW entsteht eine sehr grosse Brückenverstimmung (weil sich R_2 = Bolometer um ein grosses Δ R ändert), die eine Herabsetzung der Empfindlichkeit des Brückeninstrumentes verlangen würde, ausserdem bedingt ein grosser Querstrom eine Korrektur, die in der Grössenordnung des Meßwertes liegt. Deshalb regelt man besser bei Beaufschlagung des Bolometers mit HF die Vorheizleistung so weit herunter, bis der Arbeitspunkt, der bei abgeglichener Brücke ohne HF eingestellt war, wieder erreicht ist. Die Differenz der beiden Gleichstromleistungen, einmal ohne, einmal mit HF, gilt dann als Mass der HF-Leistung (s. Anl. 22/1). Die hiernach meßbare maximale Leistung ist aber stets etwas geringer, als die Vorheizleistung bei dem gewählten Arbeitspunkt. Die obere Grenze des Meßbereiches ergibt sich aus der maximalen Fadenbelastung (ca. 45 mA bei 10 µm Fadenstärke $\hat{=}$ 100 mW bei 6 mm Fadenlänge). Auf den Verlauf der Kennlinie braucht keine Rücksicht genommen zu werden, da ja der gleiche Arbeitspunkt wieder erreicht, mit dem Unterschied, dass ein Teil der Vorheizleistung durch die zu messende HF-Leistung ersetzt wurde. Da die Bestimmung der Gleichstromgrössen R und J mit ausreichender Genauigkeit erfolgen kann (σ = 0,1...1 %) ist entscheidend für die Genauigkeit der HF-Messung lediglich die Untersuchung, wie weit trifft die Voraussetzung zu, dass die Differenz der Gleichstromleistungen Δ N = gemessene HF-Leistung N_{HF}.

Dafür muss noch das Hochfrequenz-Verhalten des Bolometers (Skin-Effekt) untersucht werden (s. Abs. 4 b, S 52). Ferner muss der

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Transformationsvierpol die Bedingungen der optimalen Steuerverteilung und Anpassung m < 1,5 erfüllen (s.Abs. 5).

Zu B: Bei der Messung kleiner Leistungen (< 1 mW) kann die Kennlinie für den Bereich der kleinen Δ R als linear angenommen werden, deshalb genügt die Eichung mit einem bekannten Δ R, meist wird dieses in der Grösse von 0,1 Ω gewählt.

Dagegen kann die Rückwirkung der verstimmten Brücke auf die gesamte Leistungsaufnahme nicht unberücksichtigt bleiben bzw. die Brücke muss nach bestimmten Gesichtspunkten dimensioniert sein, um den Korrekturfaktor vernachlässigbar klein zu halten. Die Ermittlung dieser Korrektur ist deshalb verbunden mit der Dimensionierung der gesamten Brücke. Die Brücke ist nach dem Schema der Abb. 36 aufgebaut. Das Bolometer bildet den Zweig R_2. Die Widerstände R_1 und R'_1 sind gleich gross. Zum Brückenabgleich muss dann R'_2 die Grösse von R_2 bei der gewünschten Strombelastung (Arbeitspunkt) erhalten. Damit ist erreicht, dass der Gesamtbrückenstrom zur Hälfte durch den Bolometerzweig fliesst. Gleichzeitig ist festgelegt, dass auch die Hälfte der Brückenleistung dem Bolometerzweig zugeführt wird. Da das Bolometer ein stromabhängiger Widerstand ist, müssen alle anderen Widerstände und besonders die Zuleitungen (Lötstellen) von bester Konstanz sein, um ein eingestelltes Gleichgewicht zu erhalten. Diese Forderung muss umso höher gestellt werden, je kleiner die gemessene Leistung ist, da hierdurch die Empfindlichkeit des Anzeigegerätes für den Brückenquerstrom bedingt wird. Deshalb wird auch das Brückenstrominstrument (J_0) nicht in einem Brückenzweig, sondern in Serie mit der ganzen Brücke gelegt. Somit kann sich ein evtl. Temperaturgang des Instrumentes nicht auswirken. Praktisch wird die Brücke so aufgebaut, dass die drei Brückenwiderstände gleich gross sind und die Grösse des günstigsten Arbeitspunktes des verwendeten Bolometers erhalten.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Das Abgleichen der Brücke mit dem Vergleichswiderstand R'_2 wird sehr schwierig mit der erforderlichen feinen Unterteilung durchzuführen sein. Deshalb gibt man R'_2 den Wert, der dem Arbeitspunkt entspricht und stellt durch Regelung des Brückenstromes das Gleichgewicht ein. Bei einer Schaltung nach Abb. 36 a erfolgt dies mit dem Widerstand R_0 nach Abb. 36 b mit dem Widerstand R_v.

Die beiden Schaltungsarten wurden mit Rücksicht auf die noch näher zu besprechende Korrektur entwickelt (Lit. 14 und 16). Schaltung a entspricht dem Fall konstanten Stromes ($R_0 \gg R_{Br}$), Schaltung b dem Fall konstanter Spannung an der Brücke ($R_0 \ll R_{Br}$).

Die Leistungsmessung in der Bolometerbrücke erfolgt also ohne zusätzliche Spannungsmessung nur durch Strommessung und Widerstandsbestimmung der abgeglichenen Brücke.

Die Aufnahme der Kennlinie des Bolometers erfolgt dann in der Weise, dass R'_2 stufenweise verschiedene Werte erhält und dann durch Nachregelung des Brückenstromes die Brücke abgeglichen wird. Danach kann die Kennlinie $R_B = f(J_B)$ gezeichnet und die Leistungskennlinie $R_B = f(N_B)$ berechnet werden (s. Anl. 42...46).

Aus dem Verlauf der Kennlinie wird der Arbeitspunkt (steilste Stelle $\operatorname{tg}\gamma = \frac{\Delta R}{\Delta J}$ ein Maximum !) entnommen.

Die Anzeige-Empfindlichkeit

Zur Berechnung der Brückenempfindlichkeit kann ohne wesentliche Abweichung (Lit. 7 und 8) bei der ausgeführten Brückendimensionierung ($R_1 = R'_1 = R_2 = R'_2 = 20\ \Omega$, $R_3 = 50\ \Omega$) angenommen werden, dass alle Brückenwiderstände gleich seien. Damit ergibt sich der Anzeigestrom J_3:

$$J_3 = \frac{J_0 \cdot \Delta R}{8 R} \quad (A) \qquad (22)$$

Wird statt ΔR die Steilheit der Kennlinie im Arbeitspunkt $\operatorname{tg}\gamma$ eingeführt, so ergibt sich die Anzeigeempfindlichkeit $\frac{J_3}{\Delta N}$

$$\frac{J_3}{\Delta N} = \frac{J_0 \cdot \operatorname{tg}\gamma}{8 R} \left(\frac{A}{W}\right) \qquad (23)$$

Hieraus und aus den Bolometerkurven (Anl. 23) ist zu erkennen, dass steigender Brückenstrom J_0 den Zähler vergrössert, gleichzei-

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

tig jedoch tg δ verringert und R_{Bol} erhöht. Zunehmende Induktivität vergrössert tg γ, erhöht aber ebenfalls R_B. Die Anzeige-Empfindlichkeit ist also eine mehrfache Funktion der beteiligten Grössen. In Anl. 24 sind die Anzeige-Empfindlichkeiten der Bolometer mit den verschiedenen Fadenlängen (Anl. 23) aufgezeichnet. Jedes Bolometer besitzt ein Empfindlichkeits-Maximum der Anzeige. Die maximale Empfindlichkeit ist nur wenig abhängig von der Fadenlänge. Diese Feststellung ist sehr wichtig, denn nunmehr kann die Auswahl der günstigsten Fadenlänge nur nach den Erfordernissen der Hochfrequenz-Bedingungen (Stromverteilung und Anpassung) erfolgen.

Mit einem Brückenstrom-Instrument, das noch 10^{-8} A anzeigt (wie z.B. das verwendete Lichtzeigergerät Multiflex MG 1 bei R_i = 50 Ω), können also mit Mindest-Anzeige-Empfindlichkeit von 0,5 $\frac{A}{W}$ noch 10^{-8} W nachgewiesen werden.

Der kleinste anzeigbare Strom gibt auch die Anzeige-Unempfindlichkeit der Brücke an.

Bei abgeglichener Brücke ist $R_2 = \frac{R_2' \cdot R_1}{R_1}$

Bei geringer Verstimmung $R_2 \delta = \frac{R_2' \cdot R_1}{R_1'} (1 - \delta)$

Die Unempfindlichkeit der Brücke: (allgemeine Formel, Lit. 8)

$$\delta = \frac{J_3}{U} (R_1' + R_2') \left(1 + \frac{R_1}{R_1'} + \frac{R_2}{R_2'} + \frac{R_3}{R_1'}\right)$$

Vereinfachte Formel ($R_1 \ldots R_3$ gleich gross!):

$$\delta = 8 R \frac{J_3}{U}$$

z.B. R = 25 Ω, J_3 = $1 \cdot 10^{-8}$ A, U = 2 V $\qquad \delta = 8 \cdot 10^{-7}$

Der Messvorgang:

Wird die abgeglichene Brücke aus dem Gleichgewicht gebracht, indem dem Bolometer R_2 HF-Leistung zugeführt wird, so ist der Ausschlag des Brückenstromes J_3 der Widerstandsänderung von R_2 proportional. Bei der Eichung des Stromes J_3 in der Änderung von R_2 ergeben sich

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

jedoch durch mehrfache Abhängigkeiten:

Der Bolometerwiderstand kann durch Ändern der Verstärkung geändert werden, dann verändert sich wieder J_3. Das Bolometer kann aber auch durch einen Präzisionsfestwiderstand ersetzt werden, den man um einen definierten Betrag ΔR_2 (z.B. 0,1 Ω) ändert. Der dann fliessende Brückenstrom J_3 kann wegen der Linearität auf andere Widerstandsänderungen umgerechnet werden. Gegenüber der Bolometermessung ergeben sich jedoch dann Unterschiede wegen der veränderten Leistungseinströmung auf die Brücke als dann betrachtet. Die Leistung, durch die der Bolometerwiderstand erhöht wurde, bewirkt ausser dem zusätzlichen Querstrom J_2 noch eine Änderung des Gesamtbrückenstromes J_0 und ausserdem eine neue Gewichtsverteilung auf die beiden Hauptzweige. Das bedeutet, dass sich während der Messung der Arbeitspunkt des Bolometers verlagert.

Dieser Vorgang bedingt die Durchführung einer Korrektur, deren Theorie schon 1907 veröffentlicht wurde (Lit. 7).

Diese Eichung von J_3 mit einem Bolometer-Ersatzwiderstand bezeichnet man als Eichung in der "veränderten Bolometerbrücke".

Eine einfachere Möglichkeit ist die "Eichung in der unveränderten Brücke". Dabei wird das Bolometer in der Schaltung belassen und die Erzeugung der Brückenverstimmung erfolgt mit einem Zusatzwiderstand (wieder ca. 0,1 Ω) am Vergleichszweigwiderstand R_2'. Bei der Messung kleiner Leistungen, für die J_3 in Änderungen von R_2 bei nicht konstantem Bolometerwiderstand geeicht wurde, kann bei geeigneter Brückendimensionierung die Korrektur vernachlässigbar klein gehalten werden.

Es wäre natürlich auch möglich, das Bolometer mit einer bekannten Wechselstromleistung zu eichen, es würde sich aber wahrscheinlich damit kaum eine grössere Genauigkeit erzielen lassen als es mit Berücksichtigung der Korrekturfaktoren möglich ist.

Die Genauigkeit der aufgenommenen Kennlinie

Die Brückenzweigwiderstände R_1 und R_4 sowie deren Zuleitungen sind mit einer Differenz behaftet, die betrieblich mit 0,1 % anzusetzen sind, dann ist

$$R'_1 = R_1 (1 \pm \delta_1)$$

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Der Bolometervergleichwiderstand habe die Abweichung ϱ'_2 vom Nennwert:

$$R'_2 = R'_2 (1 \pm \varrho'_2)$$

Nach der Gleichung für die Brückenzweigströme (Anl. 22/1) ist die Brücke im Gleichgewicht, wenn

$$R_2 = \frac{R'_2}{1 + \varrho_1}$$

Durch das Bolometer fliesst dann der Zweigstrom

$$J_2 = J_0 \frac{1 + \varrho_1}{2 + \varrho_1}$$

Die vom Bolometer aufgenommene Leistung ist damit

$$N_2 = J_0^2 \left(\frac{1 + \varrho_1}{2 + \varrho_1}\right)^2 \cdot R_2$$

gemessen wird jedoch der Meßwert $\overline{N_2} = \left(\frac{J_0}{2}\right)^2 \cdot \overline{R_2'}$

Mit Berücksichtigung der relativen Fehler

$$N_2 = \overline{N_2} \frac{1 + \varrho_1}{(1 + \varrho_1/2)^2 (1 + \varrho'_2)} \qquad (24)$$

Die Kennlinie ist also mit einer Genauigkeit aufzunehmen, die von dem Strommesser bestimmt wird. Von der gegenseitigen Abweichung von R_1 und R'_1 hängt sie erst in zweiter Linie ab. Als Vergleichswiderstand R'_2 wird ein Präzisionswiderstand benutzt, dessen Fehler mit Sicherheit auch im Betrieb < 0,1 % bleiben und damit vernachlässigbar klein sind.

<u>Die Genauigkeit der Brückenstrommessung</u>

Durch Einwirkung einer zusätzlichen Leistung auf die abgeglichene Brücke ändert sich der Bolometerwiderstand R_2 um den relativen Wert ϱ_2 in den Wert

$$R_2 = R (1 + \varrho_2)$$

Dann wird der Brücken-Querstrom (eingesetzt in die allgemeine Formel von Anl. 22/1):

$$J_3 = \varrho_2 \cdot J_2 \frac{(2 + \varrho_1)(2 + \varrho_1)}{\left(2 + \frac{R_1}{R'_1} + \frac{R_2}{R'_2}\right) + (\varrho_1 + \varrho_2) + \frac{4\varrho_2}{2 + \varrho_1} \frac{R_2}{R'_1}}$$

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Bei kleinen Werten für ρ_1 (vgl. Bolometer mit kleinem Widerstand R_1 und $R_1' < 0{,}1\ \Omega$) und ρ_2 (da nur kleine Leistungen ertragen werden, z.B. 1 mW $\rho_2 = 0{,}1$)

$$J_3 \approx \rho_2 \frac{J_0}{2\left(2 + \frac{R_1'}{R_4'} + \frac{R_3}{R_2}\right)}$$

Der Brückenstrom ist also in der ersten Näherung unabhängig von der Abweichung der Zweigwiderstände, nur proportional der relativen Widerstandsänderung des Bolometers.

Aus dem Ausdruck 25 lässt sich auch die günstigste Dimensionierung der Brücke ableiten: Die Brücke wird am empfindlichsten, wenn J_3 einem Maximum zustrebt, d.h. wenn $R_3 \to 0$ und $R_1' \to \infty$ zustreben. Sobald jedoch $R_1' > R_2'$ wird, ist die Empfindlichkeitszunahme nur noch unwesentlich. Mit Rücksicht auf übersichtliche Verhältnisse bei der Korrektur und der Stromverzweigung behält man besser die Gleichheit aller Brückenwiderstände bei. Dabei wird versucht, die Beziehung einzuhalten, dass dem Brückenstrominstrument (Galvanometer) mit seinem äusseren Grenzwiderstand R_a belastet wird:

$$R_a = \frac{2 R_1' R_2'}{R_1' + R_2'}$$

<u>Die Korrektur bei Eichung mit Bolometerersatzwiderstand (verkleinerte Brücke</u>

Die Brücke wird mit dem Bolometer beim günstigsten Arbeitspunkt abgeglichen, der Brückenstrom J_0 wird notiert. Dann erfolgt der Austausch des Bolometers gegen einen Präzisionswiderstand. Die Brücke ist wieder im Gleichgewicht (da alle Brückenwiderstände stromunabhängige R sind, wäre sie auch bei allen beliebigen Strömen abgeglichen.) Zur Eichung von J_3 jedoch muss der vorherige Strom J_0 eingestellt werden. Dann wird R_2 um ΔR geändert (z.B. [illegible]) und der angezeigte Brückenquerstrom gemessen.

Der Widerstand der Brücke ist dann

$$R_w = \frac{R_1' + R_2'}{2 + \rho_1}$$

Bei gleichem Brückenquerstrom J_3 hätte die Brücke <u>mit</u> Bolometer

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

infolge der vorher beschriebenen Arbeitspunktverlagerung den Wert R_w angenommen. Aus dem Vergleich der beiden Brückenwiderstände $\frac{R_w}{R_w} \approx 1 + \frac{2}{2} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ ergibt sich auch das Verhältnis der Brückenströme $\frac{J_0^x}{J_0} = \frac{R_0 + R_w}{R_0 + R_w^x} \approx 1 - \frac{\beta_2}{2} \frac{R_3}{2R_3 + R_1 + R_2}$

Daraus ergibt sich wieder das Verhältnis der Zweigströme

$$\frac{J_2^x}{J_2} \approx \frac{J_0^x}{J_0} \left[1 - \frac{\beta_2}{2} \cdot \frac{2 + \frac{R_3}{R_1'}}{2 + R_3 \left(\frac{1}{R_1'} + \frac{1}{R_2'} \right)} \right]$$

Der Brückenstrom zeigt aber bei einer zusätzlichen Leistung auf die abgeglichene Brücke mit Bolometer (Werte mit ^{x}) die tatsächliche Widerstandsänderung an, die durch die zusätzliche zu messende Leistung und die geänderte Leistungseinströmung aus der Brückenstromquelle hervorgerufen wurde (Arbeitspunktverlagerung).

Aus der Eichung mit Festwiderstand ist einem J_2 ein ΔR zugeordnet. Aus der Kennlinie ergibt sich zu diesem Wert ein bestimmtes resultierendes $\Delta \overline{N}$, das jedoch noch um die veränderte Leistungsaufnahme der Brücke zu korrigieren ist, um den wahren Meßwert ΔN zu erhalten:

$$\Delta N = \Delta \overline{N} + (J_2 R_2 - J_2^x R_2^x)$$

Die Korrektur wird damit:

$$K = \Delta N - \Delta \overline{N} = J_0 R_2' \frac{1 + \beta_2}{(2 + \beta_2)^2} \left[1 - (1 + \beta_2) \left(\frac{J_2^x}{J_2} \right) \right]$$

Innerhalb der ersten Näherung:

$$K = \Delta N - \Delta \overline{N} \approx \beta_2 \frac{J_0^2 R_2'}{4} \left[\frac{R_2'}{2R_3 + R_1' + R_2'} - \frac{\frac{R_3}{R_2'}}{2 + R_3 \left(\frac{1}{R_1'} + \frac{1}{R_2'} \right)} \right] \quad (26)$$

Die Korrektur würde danach einer Stromquelle mit dem Innenwiderstand

$$R_0 = \frac{R_3^2}{R_1 + R_2} + \frac{R_1 R_2 - R_3^2}{R_1 + R_2} \quad (27)$$

s.B. für den korrekturfreien Fall müßte R_0 sein:

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

$$R_0 = \frac{20^2}{50} + \frac{20^2 - 20^2}{2 \cdot 20} = 8\ \Omega$$

Die Korrektur bei der ausgeführten Brücke (für Bolometer mit 6 mm langem Faden):

$R_1 = R'_2 = R_2 = 20\ \Omega \quad R_0 = 100\ \Omega \quad R_3 = 50\ \Omega$ (Multiflex ME 1)

Aus Kennlinien bei $R_B = R_2 = 20\ \Omega \rightarrow N_0 = \frac{J_0^2 R'_2}{4} = 7{,}5$ mW;

$$\operatorname{tg}\gamma = 2\ \frac{\Omega}{mW} = 2000\ \frac{\Omega}{W}$$

$$\Delta R_2 = \Delta N \cdot \operatorname{tg}\gamma = 2\ \Omega \qquad \rho_2 = \frac{\Delta R_2}{R_2} = 0{,}1$$

Diese Werte in Gl. 27 eingesetzt ergibt die Korrektur:

$$K = \Delta N - \Delta N' = 0{,}1 \cdot 7{,}5 \left[\frac{20}{200+20+20} - \frac{50/20}{2+50\left(\frac{1}{20}+\frac{1}{20}\right)}\right] \approx 0{,}207$$

Ohne Korrektur wäre ein Meßfehler entstanden von

$$F = \frac{\Delta N - \Delta N'}{\Delta N} = \frac{0{,}207}{7{,}5} = 0{,}028 \sim 3\ \%$$

Da die mit der Ausschlag-Methode gemessenen "kleinen Leistungen" [illegible] mW sind, ist durch das verringerte ρ_2 der mögliche Meßfehler auch < 3 % !

Die Bolometer weichen in ihren Gleichstrom-Widerstandswerten von-[illegible] ab, deshalb ist es für eine allgemeine Verwendung der [illegible] günstiger, die Brückenstromquelle hochohmiger als die Brücke [illegible] und bei genauen Messungen die Korrektur zu berechnen, als sich für den bestimmten korrekturfreien Fall festzulegen.

Der Abgleich der unveränderten Brücke

Das Bolometer ändert bei Leistungserhöhung seinen Widerstand um ΔR_2, die Leistungsaufnahme der Brücke wird N_2^x, dann wird

$$\frac{R'_2}{R_1} = \rho_2 \Delta - \rho_2 \left[\frac{R'_2}{2R_1 + R'_2 + R_3} + \frac{2 + \frac{R_3}{R_2}}{2 + R_3\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)}\right]$$

Durch die Verstimmung ändert das Bolometer seinen Wert um $-\Delta R_2^x$ in

$$R_2^x = R_2 (1 + \rho_2 - \rho_2^x)$$

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Der Brückenquerstrom wird dann

$$J_3^{x} \approx \frac{J_3^{*}}{2} \cdot \frac{\rho_2 + \rho_2^{*}}{2 + R_3\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2'}\right)}$$

Zur Eichung dieses Stromes J_3^{x} in ΔR_2 und damit $\angle N$ wird in der abgeglichenen Brücke dem Vergleichswiderstand R_2' der Zusatz-Eichwert ΔR_2 erteilt, damit nimmt das Bolometer den Wert $R_2'^{xx} = R_2' (1 + \frac{\rho_2}{1+\rho_1})$ an. Da ρ_1 als vernachlässigbar klein angenommen wurde, ist also die Vorbelastung der Brücke mit und ohne ΔR_2 gleichzusetzen

$$J_0^{xx} = J_0^{x}$$

Die Bolometerzweigströme verhalten sich dann

$$\frac{J_1^{xx}}{J_2} \approx 1 - \frac{\rho_2}{2}\left[\frac{R_2'}{2R_0 + R_1 + R_2'} - \frac{2 + \frac{R_3}{R_2'}}{2 + R_3\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2'}\right)}\right]$$

Die vom Bolometer aufgenommenen Leistungen

$$\frac{N_2^{xx}}{N_2} \approx 1 - \rho_2\left[\frac{R_2'}{2R_0 + R_1' + R_2'} - \frac{2 + \frac{R_3}{R_2'}}{2 + R_3\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2'}\right)}\right] \qquad (23)$$

Unter der Voraussetzung, dass R_0 so gross ist, dass der Ausdruck

$$\frac{R_2'}{2R_0 + R_1' + R_2'} \ll 1 \quad \text{(im Beispiel 1/12)}$$

als klein von erster Ordnung erscheint, dann sind die Änderungen der Leistungsaufnahmen des Bolometers aus der Brückenstromquelle beim Mess- und Eichvorgang einander entgegengerichtet. Das bedeutet

$$J_3^{xx} = -J_3^{x}$$

In der [illegible] Brücke ist also Eichung des Brückenquerstromes unmittelbar möglich, solange die Stromquelle hochohmig ist und die zu messende Leistung klein bleibt. Die sonst erforderliche Korrektur wäre noch umständlicher als die vorher beschriebene bei der Eichung mit Bolometer - Ersatzwiderstand.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

z.B. zur Abschätzung des Fehlers werden die Zahlenwerte des vorigen Beispiels eingesetzt, dann müssen die Werte des Verhältnisses der Leistungsaufnahmen in erster Näherung gleich werden (~ 1) !

Bei einer gemessenen Leistung von ~ 1 mW wird

$$\frac{N_2^{x}}{N_2} \sim 0{,}928 \qquad \frac{N_2^{xx}}{N_2} \sim 1{,}56$$

Die Eichung ist für diese Meßwerte ohne Korrektur nicht tragbar
Bei gemessener Leistung von 100 µW:

$$\frac{N_2^{x}}{N_2} \sim 0{,}9928 \qquad \frac{N_2^{xx}}{N_2} \sim 1{,}056$$

Für diese Meßwerte ist die Eichung in der unveränderten Brücke zu verwenden.

Die Eichung des Brückenstromes J_3 in der niederohmigen Brücke

Die Brücke mit niederohmiger Brückenstromquelle nach Schaltung Abb. 36 b ist speziell für die Verwendung zur Messung kleiner Leistungen zugeschnitten, wobei die Eichung von J_3 aus Gründen der einfacheren Durchführungen (Bolometer-Ausbau usw) nur nach der Methode der unveränderten Brücke durchgeführt werden soll.

Der Parallelwiderstand R_0 wird so klein als möglich ausgeführt, für die verwendeten Bolometer zweckmäßig 5 Ω, allgemein

$$R_0 \sim \frac{R_2^2}{R_3}$$

Abweichungen vom Vielfachen des Sollwertes wirken sich nur gering aus (Fehlerfaktor 0,95...1,1).

Für Eichung in der unveränderten Brücke ergibt sich eine Korrektur ε:

$$J_3^{x} = \frac{J_0}{8} \cdot \frac{\Delta R_2'}{R_2} (1-\varepsilon)$$

$$\varepsilon = \frac{R_2 + 3R_0}{R_2' - R_0 + \frac{16(R_2' + R_0)}{J_0^2 \cdot 4 J}}$$

$\frac{\Delta R_2'}{R_2} \cdot S_2 \longrightarrow$ relative Widerstandsänderung des Bolometers

(29)

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

z.B. $R_1' = R_2 = 20$, $R_o = 5\ \Omega$, $J_o = 39$ mA tg $\gamma = 2$

$$\varepsilon = 20 - 5 + \frac{16(20+5)}{39^2 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^3} \sim 24\ \%$$

Das ist eine sehr grosse Korrektur. Diese Brückendimensionierung ist also für den wegen der kurzen Wellen verwendeten Bolometertyp mit 6 mm Fadenlänge ungünstig, da für die Grösse von ε das J_o^2 bestimmend ist. Dieser Wert wird wesentlich kleiner bei längeren Fäden ($l \approx 15...35$ mm). Gleichzeitig erhöht sich damit der Fadenwiderstand ($R_2 \sim 30...40\ \Omega$) und die Brücke wird dadurch hochohmiger gegen die Stromquelle. Bei diesen Verhältnissen wird $\varepsilon \sim 3...5\ \%$.

Brückenkorrektur durch Bestimmung des R_i der gesamten Brücke

Bei diesem von Fränz angegebenen Verfahren (Lit. 10) wird von der Anpassung des Verbrauchers (Bolometer) an die gesamte Brücke einschl. der Stromquelle ausgegangen (Ableitung und Formeln sowie Beispiele Anl. 22/1 und 2). Wenn $R_{Bol} = R_{Br}$ so ändert sich die Leistungsaufnahme aus der Brückenstromquelle nur wenig, wenn R_{Bol} durch zusätzliche HF-Leistungsaufnahme erhöht wird.
Wenn $R_B = R_i$ ist, erübrigt sich die Korrektur.
Die Bestimmung von R_i erfolgt einfach durch Leerlaufspannungs- und Kurzschlußstrommessung an den Klemmen des Bolometers bei den eingestellten Werten der vorher (mit Bolometer) abgeglichenen Brücke. Bei dieser Messung ist das Nullinstrument (R_g) durch einen gleichgrossen Ersatzwiderstand zu ersetzen.

Ist das Bolometer nicht an die Brücke angepaßt, [illegible] die Korrektur einfach aus der l. Ableitung [illegible] Vorheizleistung nach dem Bolometerwiderstand [illegible]. Die Bestimmung der Leistung erfolgt nach der [illegible]. Danach sind auch die in Tabelle [illegible] ermittelt worden.

Diese Brückendimensionierung hat sich bei den [illegible] der Auswertung als die günstigste hinsichtlich [illegible] und vielseitige Verwendbarkeit erwiesen.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Anschliessend an die Bestimmung des R_1, zu der das Bolometer entfernt werden muss, erfolgt zweckmässig die Eichung des Brückenquerstromes J_3 mit einem Bolometer-Ersatzwiderstand und zusätzlichem ΔR.

4. Die Eigenschaften der Metalldrahtbolometer

a) Die Gleichstromkennlinien:

Die Dimensionierung des Bolometers erfolgt nach folgenden Gesichtspunkten: Das Bolometer wird umso empfindlicher je mehr sich sein Widerstand mit der Zufuhr einer gewissen Leistung ändert. Die Empfindlichkeit ist abhängig von der Wärmekapazität, dem Wärmeverluste an die Umgebung und Temperaturgang des Widerstandes. Der Leiter ist also in möglichst gutem Vakuum unterzubringen, um die bei dünnsten Leitern überwiegenden Verluste durch Leitung an das umgebende Medium niedrig zu halten. Zur Einhaltung der Strahlungsverluste auf ein geringes Mass ist die Oberfläche so klein wie möglich zu halten. Diese Forderung deckt sich gleichzeitig mit der nach einem möglichst skineffektfreien Leiter.

Die Länge des Leiters muss gegenüber seinem Querschnitt sein, um die unvermeidliche Wärmeableitung über die Halterungen gering zu halten.

Die nebenstehende Abb. 37 zeigt den prinzipiellen Verlauf einer Bolometer-Eichkurve (gemessene Kurven s.Anl. 42...46 am Ende der Arbeit). Nach dem im Abschnitt 3 (S. 38) erläuterten Verfahren wird die R = f (J) - Stromkennlinie aufgenommen und daraus die Leistungskennlinie R=f (N) berechnet. Auf der Kennlinie werden drei Punkte als charakteristische Werte ermittelt: Der Kaltwiderstand R_K, der Arbeitspunkt A mit der "Steilheit" $\operatorname{tg}\gamma = \frac{\Delta R}{\Delta N}$ (Abb. 55, S. 38) und die obere Belastungsgrenze, die nur für jeden Typ ermittelt werden muss, aber betrieblich nicht er-

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3 STAT

reicht werden darf. Sie wird ermittelt bei hoher Belastung (Weissglut), indem beobachtet wird, ob das Brückengleichgewicht sich von selbst ändert, da der Faden durch Abdampfung und Rekristallisation keinen konstanten Widerstand mehr besitzt.

Die Kenntnis der mittleren Werte von R_K und A sidn wichtig, um nach erster Aufnahme der Kennlinie schlechte Ausführungen ausscheiden zu können, damit Leistungsfehlmessungen vermieden werden.

Diese sind z.B. für die im cm-Wellenbereich verwendeten Typen mit 10...11 µm Ø bei

	6 mm		und	9 mm Fadenlänge	
Kaltwiderstand	7 Ω	b. 8 mA		8 Ω b. 4 mA	
Arbeitspunkt	18 Ω	b. 18 mA, $tg\gamma = 2\frac{\Omega}{mW}$		22 Ω b. 13 mA, $tg\gamma = 1{,}9\frac{\Omega}{mW}$	
Rotglut-Einsatz	30 Ω	b. 27 mA		80 Ω b. 30 mA	

Wegen der Drahttoleranz alle Werte ± 10 % Schwankung.

Die aus der Kennlinie erkennbaren Fehlerursachen sind:
1) Schlechte Fadenschweissung - erkennbar am hohen Kaltwiderstand
2) schlechtes Vakuum - geringe Steilheit infolge Wärmeableitung.

Die Kennlinien zeigen zunächst ein lineares Anwachsen des Widerstandes mit der zugeführten Leistung. Dann biegt die Kurve konvex nach oben ab, da ein immer stärker werdender Wärmeverlust durch Strahlung auftritt (s.berechnete Kennlinie Anl. 25 und Ableitung Anl. 47).

Der Strahlungsanteil ist bei niederen Fadentemperaturen verschwindend klein, da die ausgestrahlte Energie nach dem Stephan - Boltzmannschen Gesetz mit der 4. Potenz der Fadentemperatur zunimmt.

b) <u>Das Verhalten des Bolometers bei Hochfrequenz:</u>

Es wird zunächst vorausgesetzt, dass die Stromverteilung bei Hochfrequenz gleich der bei Gleichstrom sei, d.h. die Fadenlänge ist so gewählt (= $\lambda/10$) und das Transformationsglied ermöglicht es einen Strombauch in Fadenmitte zu verlegen.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Dann wird die HF-Leistung dadurch bestimmt, dass zweimal der Widerstand des Bolometers gemessen wird, einmal nur vom Gleichstrom erhitzt, das andere Mal von einer kleinen Gleichstrom- und einer zusätzlichen HF-Leistung erhitzt. Da die Messung beide Male mit Gleichstrom erfolgt, erschien dieser Ansatz bestätigt (Gleichung 50 A auf Anl. 22/1).

In vielen Meßreihen bei verschiedenen Frequenzen wurde jedoch an den Versuchsgeräten beobachtet, dass die gemessene HF-Leistung bei anderen Arbeitspunkten mit grösserer Gleichstromvorheizung grössere Werte annahm. Bei kleineren HF-Leistungen war dieser Effekt stärker als bei grösseren ausgeprägt (s.Abb. 38). Die Vermutung lag nahe, dass es sich um eine Wirkung des Skineffektes handeln könne, zumal die Wirkung bei höheren Fadentemperaturen, bei denen sich der Einfluss des Skineffektes verringert, schwächer wurde. In der Fachliteratur (Lit. 4, 10, 12 und 16) wurden Leistungsmessungen nur bis zu Wellen mit $\lambda > 30$ cm beschrieben, bei denen Wolframdrähte von 10 µm Ø als "skineffektfrei" vorausgesetzt wurden. Bei der eingehenden Untersuchung des Skineffektes ergab es sich, dass sich dieser selbst bei Wellenlängen von 3 cm ($f = 10^{10}$ Hz) bis zu maximal 10 % auswirken kann, während der oben beschriebene Effekt bis zu Vielfachen des bei kleinen Vorheizleistungen gemessenen Betrages ausmachte. Weitere Untersuchung und Erprobung zeigten dann ungeeignete Stromverteilung und Gleichstrom-Kontakte als die Ursache auf, die durch geeignete Konstruktion vermieden wurden.

<u>Der Skin-Effekt bei den verwendeten Bolometer-Fäden:</u>

Zur Untersuchung des Einflusses des Skin-Effektes wurde die Widerstandserhöhung durch den Skin-Effekt als das Verhältnis $\frac{R_f}{R_0}$ berechnet. Dieses Verhältnis wurde als Funktion der verschiedenen bestimmenden Grössen: Frequenz, Durchmesser und Fadentemperatur berechnet und aufgezeichnet.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Die Berechnung des Skin-Effektes erfolgte nach der Formel 32 (Anl. 25) und der aufgezeichneten Funktion für die strenge Rechnung nach Jahnke-Emde (Lit. 13).

In dem Kurvenblatt Anl. 26 ist die Widerstands[illegible]er dem Durchmesser aufgetragen. Bei Raumtemperatur ist [illegible]n ein Wolframdraht von 10 µm Ø mit wesentlichem Skin[illegible]t bei Wellenlängen < 10 cm behaftet. Bei ge[illegible]mperat[illegible]nung [illegible]cht jedoch der Einfluss des Skin-E[illegible]esen[illegible]ck, wie aus den Kurven $\frac{R_t}{R_o} = f(\lambda$ [illegible]bertemper[illegible]r als Parameter (Anl. 27) zu ersehen ist. [illegible]s des Skineffektes mit der Temperatur ist aus dem Verlau[illegible] $= f(\gamma)$ noch deutlicher zu erkennen (Anl. 28). E[illegible]aht von 10 µm Ø kann also bei Wellenlängen von 10 cm bei[illegible]<u>effektfrei</u> bezeichnet werden. Das Vorhandensein der [illegible]drängung an sich ist bei der Leistungsmessung noch keine[illegible]dung für eine Leistungsfehl-Messung, da nur die Wirkungen des [illegible]uktes $J^2 \cdot R = \mathcal{J}^2 \cdot \mathcal{R}$ HF verglichen werden (wohl aber bei einer Strommessung!) Um den Einfluss des Skineffektes ermitteln zu können, ist es erforderlich, zu untersuchen, welcher Unterschied besteht bei der Widerstandsmessung des nur mit Gleichstrom geheizten [illegible] des z.T. mit zusätzlicher HF-Leistung erhitzten Drahtes.

Bei einem Leiter mit merklichem Skin-Effekt wird bei gleichgrosser entwickelter Wärmemenge infolge der Stromverdrängung die Wärme mehr in der Aussenhaut ($\hat{=}$ der Eindringtiefe Δ des betr. HF-Stromes) entwickelt. Es findet deshalb eine stärkere Wärmeableitung statt als bei der gleichmässigen Stromdichte der Gleichstromvorheizung. Bei HF-Heizung ist ausserdem noch der Strahlungsanteil infolge der höheren Temperatur der Aussenhaut höher.

Nach den von Dr. Rhinow (Lit. 19) ausgestellten Formeln (s. Anl. 47) wurden die in Anl. 29 gezeichneten Kurven berechnet.

Unter Berücksichtigung der Wärme-Ableitung über die Halterung und der Strahlungsverluste ist die Funktion $R = f(J)$ aufgetragen, wobei R bedeutet:

1) den Gleichstromwiderstand (1. u. 2. Näherung G_1 und G_2)
2) den Hochfrequenz-Widerstand R ~ (2. Näherung H_2)
3) den mit Gleichstrom gemessenen Widerstand des Fadens R^x bei Hochfrequenzheizung (λ = 3 cm) Kurve H_2^x in 2. Näherung).

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Die 2. Näherung für R bei Gleichstrom (G_2) stimmt recht gut mit den Mittelwerten der aufgenommenen Kennlinien überein.

Die Kurve H_2 stellt den Widerstand dar, der sich dem Hochfrequenzstrom entgegenstellt. Es wird damit lediglich in anderer Abhängigkeit ($R^{\sim} = f(J)$ die Wirkung der Stromverdrängung dargestellt. Für die Beurteilung der Leistungsmessung ist sie uninteressant.

Wichtig ist der Verlauf von $R^{\times} = f(J)$, weil es der Widerstand ist, der mit Gleichstrom gemessen wird, wenn der Leiter mit Hochfrequenzstrom erhitzt wird. Für die Erklärung einer Leistungsfehlmessung aus dem Hochfrequenzverhalten des Bolometerdrahtes ist es günstiger, wenn aus der Kurve $R = f(J)$ die Kurve $R = f(N)$ berechnet wird. In Anlage 30 ist der Verlauf von $R = f(J)$ und $R^{\times} = f(J)$ in 1. und 2. Näherung aufgezeichnet.

Es ergibt sich daraus, dass zum Erreichen des gleichen Widerstandes (= Fadentemperatur) eine maximal 10 % höhere HF-Leistung gegenüber Gleichstrom erforderlich ist. Diese Differenz ist jedoch nicht als Meßfehler einzusetzen, da im Meßfall nicht nur HF-Strom, sondern auch noch ein Gleichstrom durch das Bolometer fliesst. Der Ausgangs-Arbeitswiderstand des Bolometers wird eines günstigen Ausschlags und gleichseitiger guter Empfindlichkeit wegen praktisch so gewählt, dass bei der Messung der Gleichstrom-Anteil noch ca. 50 % beträgt. Dann wäre mit einem Meßfehler von < 5 % zu rechnen !

In Hinsicht auf die erreichbare Meßgenauigkeit ist also bei $\lambda = 3$ cm die Grenze der Verwendbarkeit der Metalldrahtbolometer mit 10 µm Fadendurchmesser erreicht.

Dünnere Drähte waren zurzeit nicht zu beschaffen. Wolframdrähte sind zwar durch Abbeizen in einem elektrolytischen Bad bis zu 5 µm Ø herstellbar, jedoch ist dann die weitere Verarbeitung außerordentlich schwierig.

Für Zwecke der PTR. sind von Hase Goldplatin-Drähte (Platinseele mit Silberüberzug, der nach dem Ziehen abgebeizt wird) hergestellt worden, deren Platin-Seele im Fertigzustand nur noch 1 µm Ø besass.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Die Bedeutung der Fadenlänge für die Meßgenauigkeit:

Die Stromverteilung längs des Fadens wirkt sich nur insofern auf die Meßgenauigkeit aus, als ein wesentlicher Unterschied zwischen der Wärmeableitung über die Halterungen und durch Abstrahlung bei Gleichstrom- und Hochfrequenzerhitzung des Fadens besteht.

Aus Abb. 39 a ist die Stromvariation zu entnehmen. Es ist angestrebt, bei der Bolometerauswahl die Fadenlänge nicht grösser als $\lambda/10$ zu verwenden. In diesem Fall beträgt die Variation der Stromstärke erst 6 %. Die Fälle der Abb. 39 b und 40 werden praktisch nicht erreicht, sondern erleichtern lediglich die Überlegung. Bei Gleichstrom entsteht eine völlig gleiche Stromverteilung längs des Fadens. Durch die Ableitung der Wärme über die Halterung jedoch kühlen die Fadenenden kalt und bringen nicht eine Widerstandserhöhung bei. Gelingt es bei Beaufschlagung mit HF-Strom dieselbe Temperatur-Verteilung zu erreichen, so entsteht keine Fehlmessung. Bei den extremen Kurven der Abb. 40 ($\frac{l}{\lambda} = 0{,}5/1{,}0/1{,}5/2{,}0$) wird an den Fadenenden keine Wärme erzeugt, die unmittelbar abgeleitet werden könnte, so dass eine grössere Leistung gemessen wird, als bei der Gleichstromeichung. Eine Messung mit negativem Fehler entsteht, wenn die Stromstärke an den Fadenenden grössere Werte als im Mittelschnitt hat, da dann ein wesentlicher Anteil der erzeugten Wärme abgeleitet wird.

Die Funktion des in Abb. 40 dargestellten Verlaufes des Fehlers $F = f\left(\frac{l}{\lambda}\right)$ wurde von Prang abgeleitet (Lit. 10). Sie berücksichtigt nur die Wärmeleitung über die Halterungen, vernachlässigt wird dabei die Wärmestrahlung. Die Formel ist trotzdem richtig, da der Gültigkeitsbereich für niedere Temperaturen aufgestellt war (der Bereich ist durch die Widerstandsverdoppelung $\vartheta \sim 350°$ definiert).

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Wird das Verhältnis $\frac{\ell}{\lambda} \sim 0{,}1$ eingehalten, so ist die mögliche Fehlmessung mit ca. 2 % anzusetzen. Dabei ist jedoch vorausgesetzt, dass das Anpassungsglied die optimale Einstellung - Strombauch in Fadenmitte - ermöglicht. Durch exakte Fehleinstellung (Stromknoten in Fadenmitte) ist Leistungsfehlmessung bis 50 möglich (s. Abs. 5, Anl. 34, k und 35).

Der Eingangswiderstand des Bolometers in der konzentrischen Leitung:

Das Bolometer wurde bisher bei der Beurteilung seiner Eigenschaften für sich allein betrachtet. Es gelangt jedoch nur in einem konzentrischen oder Hohlrohr-Leitungszug eingebaut zur Verwendung. Für die Dimensionierung des Anpassungsgliedes ist es jedoch wichtig zu wissen, wie sich das Bolometer in der Schaltung verhalten wird. Deshalb wird das Bolometer als eine am Ende kurzgeschlossene Leitung mit der Fadenlänge ℓ betrachtet. Eine Abweichung besteht darin, dass die Halterung des Bolometer-Fadens bereits einen erheblichen Z - Sprung darstellt, der jedoch noch klein gegen den Wellenwiderstand der Fadenleitung ist.

Der Gang der Rechnung ist in Anl. 31 und der Verlauf von $\mathfrak{Z}_E$ für 2 Fadenlängen ist in Anl. 32 aufgezeichnet.

Der Eingangsscheinwiderstand des Bolometers als eine schwach gedämpfte Leitung verläuft in Form einer leg. Spirale. Für den Wert $\ell = \frac{\lambda}{4}$ wird $\mathfrak{Z}_E$ bei einem sehr hohen Wert wieder reell (Fall der Parallelresonanz).

Für die Verwendung kommen aus Gründen der Stromverteilung die Bolometer nur für die in Anl. 32 im linken Ausschnitt-Bild herausgezeichneten Frequenzen in Frage. Es ist daraus ersichtlich, dass

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

das Bolometer im wesentlichen einen Blindwiderstand darstellt.

Das Transformationsglied muss also geeignet sein, eine grosse Blindkomponente auszugleichen. Für Bolometer mit längeren Fäden (> 15 mm) bei Wellen > 20 cm liegt der Wirkanteil des Bolometers bereits nahe Z. Bei kurzen Wellen jedoch (> 3,2 cm) muss zu der hohen Blindkomponente noch der Wirkanteil R um ein Vielfaches transformiert werden.

5. Anpassung und Transformation

a) Herstellung der richtigen Stromverteilung:

Im vorherigen Abschnitt wurde der mögliche Meßfehler abgeleitet, der entstehen kann, wenn die Stromvariation längs des Fadens durch ein ungünstiges (zu grosses) Verhältnis ℓ/λ zu grosse Werte erhält. Mit dem Abschluss des Leitungszuges hinter dem Bolometer lassen sich alle möglichen Stromverteilungen auf dem Bolometerfaden herstellen. Zur Untersuchung dieses Zusammenhanges wurden mehrere Meßreihen in einem Versuchsaufbau nach Anl. 33 durchgeführt. Der Innenleiter einer konzentrischen Meßleitung wurde durch die dargestellte Anordnung ersetzt, die in den elektrischen Massen dem Bolometer-Leistungsmesser B entspricht. Den Leitungsabschluss bildete eine Stichleitung mit verstellbarem Kurzschlusschieber.

Bei dem Versuch wurde die zugeführte HF-Energie konstant gehalten und die Abschlussleitungslänge ℓ um mehr als $\lambda/2$ (45 mm) in 5 mm-Intervallen verstellt. Mit der beschriebenen Brückenschaltung wurde dabei die vom Bolometer aufgenommene Leistung gemessen. Mit der auswechselbaren Sonde (Strom- und Spannungssonde) des Meßkopfes erfolgte gleichzeitig die Aufnahme der Strom- und Spannungsverteilung. Die Meßergebnisse sind in Anl. 34 aufgezeichnet. Die Abb. 42 a zeigt die vom Bolometer aufgenommene Leistung über der $\lambda/2$-Verstellung des Kurzschlusses. Sie ist aus der Auswertung der Messungen a...k der Anlage 34 entstanden.

Es ist zunächst zu erwarten, dass das Leistungsmaximum bei einem Schiebeabstand von $\ell \sim 0{,}5\ \lambda$ vom Bolometer aufgenommen würde. Es tritt jedoch bereits bei einem Wert von $\ell = 0{,}36\ \lambda$ auf. Der Unterschied ist mit dem ermöglichen Z-Sprüngen längs des Bolometers zu erklären (Abb. 42 b). Der gestrichelte Linienzug würde

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

einer Stromverteilung ohne Z-Sprünge entsprechen. Längs der Leitung ändert sich jedoch Z von 70 Ω auf 200 Ω (auf die Länge der Bolometer-Haltedrähte) und 500 Ω (über die Länge des Bolometerfadens). Der dicke Innenleiter wirkt ausser durch den Z-Sprung wie eine Parallelkapazität. Es entsteht dadurch eine verzerrte Strom- und Spannungsverteilungskurve, so dass der günstigste Schieberabstand bei einem geringeren Wert als dem theoretischen λ/2-Wert festzustellen ist. Die verzerrten Kurven sind besonders aus den Messungen a, h, i und k der Anl. 34 ersichtlich. Durch die Schleifenlänge der Strom-Sonde sind die Stromkurven nicht so ausgeprägt wie die Spannungskurven.

Bei der Bolometerhalterung soll aber nicht nur der Abschluss der Leitung mit der richtigen Länge erfolgen, sondern auch mit einem guten (geringen) Kurzschlusswiderstand.

In einem Aufbau, der der Halterung des Bolometer-Leistungsmessers A entspricht, wurden die möglichen Fälle guter und schlechter Halterung herbeigeführt und ausgemessen. Die Ergebnisse sind in Anl. 35 aufgezeichnet. Die gezeichneten Stromverteilungen sind nur sinngemäss entworfen. Die Messung a erfolgte bei optimaler Einstellung im Gerät B (mit verstellbarem Kurzschluss). Wegen der Verwendung für längere Wellen wird beim Gerät A (das auch das erste in der Entwicklungsreihe war) das Bolometer unmittelbar in den Leitungsabschluss eingesetzt. Selbst bei sorgfältiger Einspannung (Versuch b) ist nicht die optimale Leistung zu erreichen. Da der Kontaktpunkt, der bei Messung d besonders tief angesetzt wurde,

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

nie ganz vorn liegen kann, wird man auch nicht die theoretische Stromverteilung erreichen und bei der unteren Betriebswelle mit einem Fehler von ca. 10 % zu rechnen haben. Dabei konnte gleichzeitig der erwähnte Effekt, dass die gemessene Leistung vom Arbeitspunkt abhängig ist, begründet werden:

Durch die ungünstige Stromverteilung entsteht eine grosse Stromvariation. Besonders am linken Fadenende wird wesentlich Wärme über die Halterung abgeführt werden. Erhöht man nun die Gleichstrom-Vorheizung, so wird die relative Stromvariation $\Delta J/J_m$ geringer, man misst eine höhere Leistung (Fall b, Abb. 43).

Nicht nur der Ort, sondern auch die Güte des Kurzschlusses (Kontaktwiderstand) ist für die Strom-Verteilung und damit für eine Fehlmessung bestimmend. Vor dem Kurzschluss habe der Bolometer-Zuleitungsdraht eine Berührungsstelle mit Übergangswiderstand R_K.

Ist die HF-Spannung an der Stelle $R_K > 0$, so wird auch an R_K HF-Leistung verbraucht, die natürlich nicht zur Widerstandserhöhung von R_{Bol} beiträgt und damit nicht mitgemessen werden kann. Der Anteil der HF-Leistung, die in R_K verbraucht wird, hängt von R_B, R_K und von der HF-Spannung ab (Lage von R_K !). Wird nun durch eine grössere Vorheizleistung R_B erhöht, so übernimmt R_B anteilmässig mehr Leistung und es wird eine grössere Leistung gemessen.

Der Gleichstrom fliesst dagegen nur durch den zu R_K parallel liegenden Kurzschluss, es wird somit keine wesentliche Gleichstromleistung in R_K verbraucht. Um das Bolometer auf die gleiche Tem-

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

peratur (= Widerstand) zu erreichen, benötigt man also eine geringere Gleichstrom-Leistung (N_1) als im Fall der Gleichstrom + HF-Leistung ($N_2 + N_{HF}$). Bei der Durchführung der Substitutionsmethode ($N_{HF} = N_1 - N_2$) ermittelt man also eine kleinere Leistung, als vom Generator abgegeben wurde. Durch eine Vorheizung lässt sich dieser Fehler verringern. Bevor nun N_{HF} einen konstanten Wert für N_{HF} erreicht hat, ist meist die Belastungsgrenze des Bolometers erreicht oder bei kleineren HF-Leistungen wird durch die erhöhte Vorheizleistung die Differenz $(J_{B1}^2 - J_{B2}^2)$ so klein, dass sich dadurch ein neuer Unempfindlichkeitsfaktor einstellt.

Es ist jedoch auch möglich, dass eine grössere Leistung ermittelt wurden kann, als tatsächlich vom Sender abgegeben wird. Ist der Kontaktwiderstand der Halterung nicht 0 für Gleich- und Wechselstrom, so kann man sich auch R_K durch die Leitung in die Ebene des Bolometerfadens mit einem Wert R_K' transformiert denken, wobei dann $R_K' \ll Z$ sein kann. Der durch R_B fliessende HF-Strom erzeugt dann in R_K' nur eine kleine Leistung. Bei der Messung der Gleichstromleistung N_1 jedoch leistet der Gleichstrom einen grossen Leistungsanteil in R_K. Es wird also eine grössere HF-Leistung gemessen, als geleistet wird. Erhöht man nun die Vorheizleistung, so wird dieser Effekt verstärkt auftreten. Im Gegensatz zum vorherigen Fall wird N_{HF} bei steigender Vorheizleistung keinem Endwert zustreben, sondern weiter steil zunehmen. Es ist also zweckmässig bei genaueren Messungen die Bestimmung der HF-Leistung bei verschiedenen Arbeitspunkten vorzunehmen. Die Meßanordnung ist einwandfrei, wenn die Ergebnisse mit geringen Toleranzen (< 5 %), die durch das Transformationsglied bedingt sind, festzustellen sind.

Bei der Entwicklung und Erprobung verschiedener Geräte-Ausführungen hat es sich gezeigt, dass die Halterung des Bolometers nach der üblichen Art der Drahtklemmung mit einer Madenschraube nicht

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

genügt. Neben einem guten Gleichstrom-Kontakt muss vor [illegible] auch ein HF-Stromweg ohne Umwege und Stromsprünge ($\lambda/4$ [illegible] $R \to \infty$!) sichergestellt sein.

Die Abb. 46 a zeigt eine nach diesen Gesichtspunkten ausgeführte Halterung des Bolometers, wie sie z.B. im Leistungsmesser B eingebaut ist.

Die Abb. 46 b zeigt die Bolometerhaltung in einem Schlitten, der längs eines geschlitzten Hohlrohres gleitet und damit den Ort des Bolometers veränderbar macht (wie im Bolometer-Leistungsmesser C). Auf gute definierte Kontaktgabe muss vor allem bei den Gleitstellen geachtet werden, für die Federn vorgesehen sind.

Die obere Einspannung muss gleichstrommässig isoliert sein, da dort das Potential der Vorheizung anliegt. Bei den verwendeten Frequenzen ($\sim 10^{10}$ Hz) beträgt die Eindringtiefe nur 1...1,5 µ, so dass man es mit reiner Oberflächenleitung zu tun hat. Es ist deshalb unerlässlich, dass alle HF-Strom führenden Teile versilbert sind.

Für Federkontakte haben sich Stahlfedern am besten bewährt, wenn sie

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

einen einwandfrei haftenden galvanischen Überzug durch Versilberung erhalten. Silberschicht [illegible] sind bei dem geringen Eindringtiefen völlig ausreichend.

b) Die Transformation:

Bei der Erklärung des Meßprinzips der abstimmbaren Absorptionsleistungsmesser (S. 52) wurde bereits erwähnt, dass das Absorptionselement (Bolometer usw) einen von Z abweichenden Widerstand besitzt. Wie aus dem Kurvenbild Anl. 32 ersichtlich ist, beträgt der ind. Widerstand z.B. der Drahtbolometer bei Zentimeterwellen rund das 10-fache des Wirkwiderstandes. Die Transformation erfolgt meist auf den Wert des Wellenwiderstandes der vorgeschalteten Leitung, immer aber dann, wenn zur Kontrolle der Leistungsmessung eine Meßleitung vorgeschaltet wird.

Es soll also der Eingangswiderstand des mit dem Bolometer abgeschlossenen Vierpols gleich dem des Verbrauchers sein, dessen Leistungsaufnahme ermittelt werden soll.

Für die Transformation kommen 3 Gruppen von Schaltelementen in Frage:

1. Serien-Blindwiderstände
2. Parallel-Blindwiderstände
3. vorgeschaltete Leitung.

Da die Leistungsmesser immer für einen Bereich und selten für eine Festwelle ausgelegt werden sollen, ist die Berechnung der Transformationsglieder für eine bestimmte Welle unzweckmässig, vielmehr interessiert es, zu wissen, welche Grössen müssen die Transformationsglieder durchlaufen können, um Anpassung von Z_{Bol} an Z in einem bestimmten Bereich zu gewährleisten. Der Verlauf der Schaltungsgrössen lässt sich am besten aus den Widerstands- bzw. Leitwertdiagrammen entnehmen. Da es sich meist um Parallelschaltungen handelt, ist die Verwendung der Leitwertdiagramme praktischer.

Zur Erklärung der Transformationsdiagramme sei die Wirkung der Schaltelemente einmal kurz wiederholt:

In Abb. 47 ist der Verlauf der elementaren Schaltvorgänge darge -

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

stellt.

STAT

Es ist daraus ersichtlich, dass im $\mathfrak{R}$-Diagramm eine Gerade zur j-Achse den Ort aller Serien-Blindwiderstände bildet, während sich $\mathfrak{R}$ bei Parallelschaltung von Blindwiderständen auf dem eingezeichneten Y-Kreis verschiebt. Im Leitwertdiagramm (Abb. 47 b) zeigt sich das umgekehrte Verhalten. Durch Variation des Blindwiderstandes von $+ j\infty \ldots -j\infty$ wird im $\mathfrak{L}$-Diagramm die Gerade (Ort der Serien- $\mathfrak{R}$) von $+j\infty \ldots -j\infty$ durchlaufen.

Im Leitwert-Diagramm bedeutet dies ein Durchlaufen des Kreises R = const. Da in der Dezitechnik zur Erzeugung von Blindwiderständen "Stichleitungen" dienen, die aus nahezu verlustlosen Leitungen bestehen, lässt sich durch Variation der Leitungslänge l_s um $\lambda/2$ der Fall der Blindwertvariation von $+ j\infty \ldots - j\infty$ bei R = const leicht verwirklichen ($\mathfrak{R}_s = Z \cdot 4 \frac{2\pi l_s}{\lambda}$).

Abb. 48 a zeigt die elementare Umformung einer Serien- in eine Parallelschaltung, da hierin der Übergang vom $\mathfrak{R}$- zum $\mathfrak{G}$-Diagramm begründet ist. Die Abb. 48 b zeigt zusammengefasst die Verlegung eines Widerstandes durch Serien- und Parallelschaltung (siehe Abb. 47 a und b) und durch eine vorgeschaltete Transformationsleitung.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Durch Vorschalten einer homogenen Leitung mit dem Wellenwiderstand Z verläuft $\mathfrak{R}$ bei Änderung der Leitungslänge l auf einem Kreis, dessen Mittelpunkt auf der reellen Achse liegt und der aber nicht mehr durch den Nullpunkt geht, sondern auf der τ - Achse die Werte R_{min} und R_{max} durchläuft. Beträgt die Leitungslänge $\tau = \lambda/2$, so wird der Kreis einmal durchlaufen, d.h. die Leitung hat keine Transformationswirkung mehr, da am Ende der Eingangswiderstand wieder erscheint. Auf der x-(reellen) Achse werden durch die Punkte R_{max} und R_{min} die Grenzen des Transformationsbereiches angeschnitten.

Die formelmäßige Ableitung der Konstruktion der Leitungskreise ist an Hand der Abbildung in Abs. 24/1,...7 angegeben. Aus der nebenstehenden Abb. 48 a ist die graphische Konstruktion der Leitungskreise zu ersehen. Gegeben sei $\mathfrak{R}_{ge}$, τ und der Endwert $\mathfrak{R}_e$. Nach der Verhältnisgleichung [illegible] Strecke [illegible] Min. + 2 Längen und damit die Radien von R_{min} und R_{max} erhält. Der Kreiskonstruktion erfolgt nach dem

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Apollonischen Satz: $\mathfrak{Z}_B$ und Z werden verbunden, die Winkel α und β halbiert. Die Halbierenden schneiden auf der reellen Achse die Punkte R_{min} und R_{max} an. Damit kann der Durchmesser und Kreismittelpunkt M gekennzeichnet werden. Die erforderliche Leitungslänge, um auf dem Kreis von $\mathfrak{Z}_B$ nach dem Zwischenpunkt $\mathfrak{Z}_3$ zu gelangen, wird durch die Kreise "konstanter Leitungslänge" gegeben (K' durch Z und $\mathfrak{Z}_B$, K" durch Z und $\mathfrak{Z}_3$). Der Winkel unter dem sich die beiden Kreise schneiden, ist der Leitungslänge ℓ proportional:

$$\measuredangle \varphi \hat{=} \ell = \frac{1}{2\pi} \lambda$$

Mit Hilfe der Diagramme soll nun untersucht werden, welche der möglichen Abstimmelemente benötigt werden, um einen möglichst unbeschränkten Transformationsbereich zu erhalten. Wie bereits vorher erwähnt, werden zur Erzeugung der Blindwerte Stichleitungen verwendet, es können also für die Parallel-Blindwerte alle Grössen von + j ∞ ...-j ∞ eingesetzt werden:

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Die Schaltungen a...h geben die möglichen Kombinationen an. Diagramm 49 i zeigt die dabei entstehenden Transformationswege während die Abb. 49 k die Ebenen angibt, innerhalb derer Widerstände mit den Schaltungen a...h transformiert werden können. Als günstigste Kombination erweisen sich die Schaltungen f und g die zusammengefasst werden können, wenn der Querblindleitwert durch eine Stichleitung dargestellt wird, deren Länge $l_s = \frac{\lambda}{2}$ beträgt. Es können damit alle Widerstände in der Zahlenebene mit Ausnahme derer innerhalb des Kreises zwischen 0 und Z transformiert werden. Die praktische Ausführung dieser Schaltung zeigt Abb. 51. Den Nachteil einer beschränkten Transformationsebene vermeidet die Kombination einer in ihrer Länge veränderlichen Leitung mit einer Parallel-Stichleitung.

Der Transformationsweg lässt sich am besten in der Leitwertebene verfolgen. Die Länge der vorgeschalteten Leitung wird durch den Bogen $\overset{\frown}{G}$ bzw. $\overset{\frown}{G''}$ angegeben. Die Gerade, die parallel zur j-Achse durch den zu transformierenden Wert verläuft, gibt den Blindleitwert an, der mit der Stichleitung zu erzeugen ist. Besitzt die vorgeschaltete Leitung eine Einstellänge von $l_v = \frac{\lambda}{2}$, so ist ein voller Umlauf auf dem m-Kreis möglich. Es kann also zwischen den Einstellungen über G'' und G' als Ansatzpunkt des Querleitwertes gewählt werden. Mit Rücksicht auf der Verluste ist immer der Transformationsweg zu wählen, der die kürzeren Leitungslängen ergibt. Möglichst zu vermeiden sind die Einstellungen, bei denen der m-Kreis ein Wirkleitwertmaximum durchläuft, da dann ein Strombauch auf der Leitung entsteht, der erhöhte Wirkverluste zur Folge hat.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Die Abb. 51 zeigt einen Transformationsvierpol, der [illegible] verlustarm, dafür jedoch nicht universell ist. Durch die unvermeidlichen Baulängen ist der Wellenbereich für $\lambda > 10$ cm beschränkt. Die Länge der Stichleitung und die Grösse der Serienkapazität müssen veränderbar sein. Wegen der Grösse der Serienkapazität ist der Wellenlängenbereich nicht so gross wie bei anderen Schaltungen.

[illegible] befindet, kann wegen der Länge der Halterung nicht die [illegible] Verteilung auf dem Faden erreicht werden, deshalb [illegible] Vermeidung von Meßfehlern die Verwendung auf $\lambda > 10$ cm beschränkt bzw. es müsste hinter dem Bolometer eine Serien-Stichleitung mit verstellbarem Kurzschluss angeordnet werden.

Die Ausführung eines Transformationsvierpoles mit veränderbarer Leitungslänge bedingt einen erheblichen konstruktiven Aufwand. Es wurde deshalb auch die anderweit verwendete Zweistichleitung untersucht. (Anl. 36). Mit zwei Stichleitungen und dazwischenliegendem Leitungsstück lässt sich ebenfalls eine universelle Transformation durchführen. Soll jedoch innerhalb eines grossen λ - Bereiches gearbeitet werden, so verliert das Zwischenstück (das zweckmässig die Länge $l = \frac{\lambda_{min}}{4}$ erhält) an Transformationswirkung nach den kürzeren Wellenlängen zu und die Stichleitungen müssen sehr hohe Blindwerte aufbringen, was eine Annäherung an die Extremwerte $l_1 \sim 0$ und $l_2 \sim \frac{\lambda}{2}$ bedeutet. Bei diesen Einstellungen steigen die Transformationsverluste in den Kontakten sehr

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3 STAT

stark an. Die Dreistichleitung vergrössert den Variationsbereich. Man erhält jedoch unübersichtliche Transformationswege. Es ist daher zweckmässig, nach der von Tatarinow angegebenen Methode zu arbeiten, wonach jeweils eine Stichleitung die Länge $\frac{\lambda}{4} + n\lambda/2$ erhält und damit unwirksam wird. Mit der gewonnenen Länge der zusätzlichen Zwischenleitung wird dann die Transformation wie bei einer Zweistichleitung durchgeführt.

Bei dem angegebenen Beispiel wäre z.B. die Lösung II zu bevorzugen, da sie den Transformationsweg über das hohe Leitwertmaximum vermeidet.

Mit Rücksicht auf die möglichen Verluste ist es zu empfehlen, beim Abstimmen des Transformationsvierpols den Transformationsweg im Diagramm zu verfolgen, um verlustbehaftete Einstellungen zu vermeiden. Für eine Abwägung der verschiedenen Transformationsmöglichkeiten gegeneinander, ist die Untersuchung der Verlustmöglichkeiten erforderlich.

c) <u>Die Verluste in den Transformationsgliedern:</u>

Die Leistungsverluste in dem Transformationsvierpol setzen sich zusammen aus

1) Spannungsverlusten $\frac{U^2}{R}$ (dielektrische Verluste)

2) Stromverlusten $J^2 \cdot R$

a) durch Skin-Effekt

b) Kontaktverluste.

Die dielektrischen Verluste sind nur möglich im Dielektrikum. Da die Innenleiter höchstens 1 bis 2 Stützen enthalten, die aus hochwertigem Material (Calit oder Trolitul) bestehen und besonders gestaltet sind, können die Verlustmöglichkeiten vernachlässigt werden. Durch Ausdrehung und Bohrungen wird die Kapazität und das Volumen der Stützen stark verringert.

Die Stromverluste $J^2 \cdot R$ treten auf in der Zwischenleitung und am Ende (Schieberkontakte) der Stichleitungen durch unvollkommene Stromübergangsstellen.

Die Stromverluste werden im wesentlichen durch den Skin-Effekt be-

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

dingt, der den an der Stromleitung teilnehmenden Anteil des Querschnitts verringert und an die Oberfläche verdrängt. Die Eindringtiefen sind im Diagramm Anl. 53 eingezeichnet, sie betragen z.B.

Bei Wellenlänge λ =	3 cm	10 cm	30 cm	
Eindringtiefe f. Silber	Δ = 0,63 µm	1,18 µm	2 µm	$\sigma_0 = 62 \cdot 10^4 \frac{\Omega}{cm}$
f. Kupfer	Δ = 0,67 µm	1,12 µm	2,1 µm	$\sigma_0 = 58 \cdot 10^4 \frac{\Omega}{cm}$
f. Messing	Δ = 1,4 µm	2,5 µm	4,4 µm	$\sigma_0 = 13,5 \cdot 10^4 \frac{\Omega}{cm}$
Oberflächenwiderstand R_0 =				
f. Silber	0,0258 Ω	0,014 Ω	0,0081 Ω	
f. Kupfer	0,0265 Ω	0,0146 Ω	0,0084 Ω	
f. Messing	0,055 Ω	0,03 Ω	0,0174 Ω	

Der Skin-Effekt wird für die Widerstandsberechnung durch die Grösse des Oberflächenwiderstandes berücksichtigt. R_0 ist der Widerstand eines Stückes der Leiteroberfläche von 1 cm Breite und 1 cm Länge.

$$R_0 = \frac{3,5}{\sqrt{\lambda \cdot \sigma}} \qquad \lambda \text{ in cm}, \ \sigma \text{ in } \frac{S}{cm} \tag{33}$$

Der Widerstand eines Leiters mit Durchmesser d und Länge ℓ (cm)

$$R_V = R_0 \frac{\ell}{\pi d} \tag{34}$$

(R_0 wird auch oft auf die Leitungslänge bezogen angegeben (R_0 $[\frac{\Omega}{cm}]$)

Der Strom in der Stichleitung an der Leitungsstelle $x = \ell$ hat den Effektivwert J_e, dann ist der Strom an der Stelle x:

$$J_x = J_e \frac{\cos 2\pi \frac{x}{\lambda}}{\cos 2\pi \frac{\ell}{\lambda}} \tag{35}$$

Die Verlustleistung an der Stelle x beträgt

$$dN = J^2(x) \cdot R_0 \cdot dx$$

Der gesamte Leistungsverlust auf der Leitung ist dann:

$$N = \int_0^\ell dN = J_e^2 R_0 \ell \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\cos^2 \frac{2\pi\ell}{\lambda}} + \frac{\frac{2\pi\ell}{\lambda}}{2\pi \frac{\ell}{\lambda}} \right) \tag{36}$$

Der Eingangsblindleitwert ist

$$y_\ell = \frac{1}{Z} \cdot \cot \frac{2\pi\ell}{\lambda} \tag{37}$$

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Die Eingangsspannung

$$\mathfrak{U}_e = \frac{\mathfrak{U}_a}{\mathfrak{f}_e}$$

Der Eingangswirkleitwert

$$G = \frac{N}{U_e^2} = \frac{1}{2}\frac{R_0 l}{Z^2}\left(\frac{1}{\frac{R_0 l}{2}\frac{2\pi l}{\lambda}} + \frac{\frac{2\pi l}{\lambda}}{\frac{2-R_k}{\lambda}}\right) \qquad (38)$$

Der (nie vollkommene) Kurzschluss am Ende der Stichleitung mit R_k wird von dem Kurzschlußstrom J_k durchflossen:

$$\mathfrak{J}_k = \frac{\mathfrak{U}_e}{Z_0 \frac{2\pi l}{\lambda}} \qquad (39)$$

Dabei entsteht der Leistungsverlust

$$N_v = \mathfrak{J}_k^2 \cdot R_k \qquad (40)$$

Dies entspricht einem Eingangswirkleitwert (wie 38)

$$G = \frac{N}{U_e^2} = \frac{R_k}{Z^2}\cdot\frac{1}{\sin^2\frac{2\pi l}{\lambda}} \qquad (41)$$

Formel 38 und 41 sind nur gültig, wenn die Ausdrücke

$\frac{1}{2}\frac{R_0 l}{2}\cot\frac{2\pi l}{\lambda}$ mit $\frac{R_k}{2}\cot\frac{2\pi l}{\lambda} < 1$ sind. Da R_0 und R_k klein sind, fallen die Fälle aus, in denen $\cot\frac{2\pi l}{\lambda}$ sehr gross werden kann, das ist die Umgebung von $l/\lambda = 0$ und 0,5.

Die Strom-und Spannungsverteilung auf der vorgeschalteten oder Zwischenleitung für den Punkt x ergibt sich aus den Vierpolgleichungen der verlustfreien Leitung:

$$\left.\begin{aligned}\mathfrak{J} &= \mathfrak{J}_e \cos\frac{2\pi x}{\lambda} + j\frac{R_0}{2}\sin\frac{2\pi x}{\lambda}\\ \mathfrak{U} &= \mathfrak{U}_0 \cos\frac{2\pi x}{\lambda} + j\,\mathfrak{J}_e Z \sin\frac{2\pi x}{\lambda}\end{aligned}\right\} \qquad (42)$$

Zur Berechnung der Verlustleistung muss der Effektivwert in jedem Punkt bekannt sein. Solange jedoch $\mathfrak{U}_a$ und $\mathfrak{J}_e$ nicht in Phase sind, ist $\mathfrak{J}_e$ schwierig zu ermitteln. Der Punkt x = 0 wird deshalb in ein Strommaximum oder Minimum gelegt. Die Lage dieser Punkte entnimmt man dem Leitwertdiagramm (z.B. Abb. 50). Es ist der rechte bzw. linke Schnittpunkt mit der reellen Achse, dessen Abstand l_1 vom Ende und l_2 vom Anfang der Leitung man dort ablesen kann. Aus dem Diagramm kann dann für diesen Punkt

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

$x = 0$ der reduzierte ($\frac{1}{Z} = 1$) Leitwert $g = \frac{1}{Z}$ angenommen werden. Dann ergibt sich der Strom an der Stelle x:

$$J = J_0 \left(\cos \frac{2\pi x}{\lambda} + j \frac{1}{g_0} \sin \frac{2\pi x}{\lambda} \right) \qquad (43)$$

An der Stelle x entsteht für die Länge dx ein Leitungsverlust von

$$dN = J_0^2 \cdot R_0 \left(\cos^2 \frac{2\pi x}{\lambda} + \frac{1}{g_0^2} \sin^2 \frac{2\pi x}{\lambda} \right) dx$$

Um den Gesamtleistungsverlust zu erhalten, muss man vom Ende $x = l_1$ bis zum Anfang $x = l_2$ der Leitung integrieren. Dieser Leistungsverlust wird dargestellt durch einen Wirkleitwert am Eingang. Am Eingang besteht die Spannung

$$U_e = J_0 Z \left(\frac{1}{g_0} \cos \frac{2\pi l_2}{\lambda} + j \sin \frac{2\pi l_2}{\lambda} \right) \qquad (44)$$

wird wie nach (38) gebildet $G = \frac{N}{U_e^2}$, damit erhält man:

$$G = \frac{R_0}{2Z^2} \cdot \frac{\frac{\lambda}{4\pi} \left(\sin \frac{4\pi l_2}{\lambda} - \sin \frac{4\pi l_2}{\lambda} \right)(g_0^2 - 1) + (l_2 - l_1)(g_0^2 + 1)}{\cos^2 \frac{2\pi l_2}{\lambda} + g^2 \sin^2 \frac{2\pi l_2}{\lambda}} \qquad (45)$$

Hieraus lassen sich einige Sonderfälle ableiten:

1) für die kurzgeschlossene Leitung (Stichleitung) $g_0 = \infty$, $l_1 = 0$ wie (38))
2) für $g_0 = 1$ die Verluste einer angepassten Leitung
3) für $g_0 = 0$ und $l_1 = 0$ eine Formel für die am Ende offene Leitung.

Die Vorausberechnung der Verluste ist nach vorher beschriebenen Formeln recht umfangreich und liefert nur Näherungswerte, da besonders für R_k (Kontaktwiderstand) der Schieber ei e Annahme getroffen werden muss (z.B. 0,01 Ohm), von der man sich aber bei mangelhafter Ausführung (geringer Kontaktdruck, schlechte oder bei der galvanischen Behandlung ausgebeiste Lötstellen usw). sehr weit entfernen kann.

Es ist daher wesentlich einfacher, die Vierpolverluste der gesamten Anordnung zu bestimmen (Lit. 18).

Für die spezielle Untersuchung der Leistungsmesser-Anordnung geht man nach dem folgenden Prinzip vor: Vor den Leistungsmesser (Trans-

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3 STAT

formationsvierpol mit Verbraucher-Element z.B. Bolometer) wird eine Meßleitung geschaltet. Dann wird bei der Betriebsfrequenz der Transformationsvierpol abgestimmt, bis mit der Meßleitung Anpassung festgestellt wird ($m = 1$). Es ist dabei zweckmässig, den Ausschlag des Brückenquerstrominstrumentes zu verfolgen (bei grösseren Leistungen mit verringerter Empfindlichkeit). Damit ist gewährleistet, dass auf den HF-Verbraucher abgestimmt wird, d.h. Anpassung und Leistungsmaximum müssen zusammenfallen. Es ist besonders bei den Anpassungsgliedern, die einen unbegrenzten Transformationsbereich gestatten, durchaus möglich, dass auf einen Verlustwiderstand des Vierpoles z.B. schlechter Kurzschlussschieber o.ä., angepasst wurde. Dadurch entsteht eine für die Verlustbestimmung sinnlose Messung. Bei einem idealen Transformator stellt der HF-Verbraucher (Bolometer) den einzigen Wirkwiderstand des Kreises dar. Zur Kontrolle dieses Zustandes wird nach optimaler Abstimmung ($m = 1$) das Bolometer entfernt. Ohne die Abstimmelemente zu verstellen wird dann wieder die Anpassung auf der Meßleitung bestimmt. Da die Schaltung jetzt nur noch Blindwiderstände enthält, müsste jetzt totale Reflexion festzustellen sein. Ist jetzt noch ein meßbares m feststellbar, so ist dieses ein Maß für die Wirkverluste des Transformationsgliedes.

Der Verlustfaktor η_v (%) ergibt sich aus der Formel

$$\eta_v = \frac{N_x}{N_{max}} = \frac{4m}{(m+1)^2} \cdot 100\ \% \qquad (46)$$

Für eingehende Untersuchungen der Verluste führt man diese Messung für verschiedene Abschlüsse des Vierpoles durch (Leerlauf ohne Bolometer, Kurzschluss mit Bolometerersatzstück und Phantombolometer (Kapazitäten)) durch. Die so mit der Meßleitung ermittelten Eingangswiderstände des Vierpols bilden in der Widerstandsebene einen Kreis, für den das Verhältnis $\frac{N_x}{N_{max}}$ konstant ist. Nach der von Weissfloch (Lit. 18) angegebenen Konstruktion lässt sich damit der für den Vierpol charakteristische "Grenzkreis" bilden, der auf der reellen Achse die Serien- und Parallelverluste R_s und R_p abschneidet.

Zur Kontrolle der ausgeführten Leistungsmesser (A, B und C) wurden diese Messungen für die Grenzfälle Leerlauf und Kurzschluss durchgeführt. Die Verluste lagen dabei in der Grösse von 5...8 %.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3 STAT

(m = 75...50, siehe Anl. 37). Bei Leerlauf (ohne Bolometer) hätten jedoch die Verluste geringer sein müssen, da ja nur noch die Stichleitung angeschlossen war. Durch Verändern der Schraubkupplung zwischen Meßleitung und Vierpol wurde beobachtet, dass dort unvollkommene Kontaktierung eine Verlustquelle bildete. Durch Fiederung der Buchsenteile konnten die Verluste des Vierpoles bis auf Werte < 3 % gesenkt werden (m ~ 130).

Die Messung so grosser m-Werte erfolgt am besten mit einem Abtastsuper am Meßkopf der Meßleitung. Zur Bestimmung des U_{max} wird vor der Meßleitung mit einem Spannungsteiler die Eingangsspannung so weit herabgesetzt, dass der gleiche Ausschlag wie bei U_{min} entsteht. Der m-Wert ist dann am Spannungsteiler abzulesen. Damit ist man unabhängig von der Detektorkennlinie. Da ein Abtastsuper für λ = 8 cm nicht zur Verfügung stand, musste die Kennlinie sehr genau aufgenommen werden (siehe Anl. 37) und dann wurden die gemessenen Werte durch Spiegelung an einer Sinuslinie korrigiert. Die Aufnahme der Kennlinie erfolgte mit einem Multiflex-Galvanometer, das zur Empfindlichkeitsregelung ein T-Glied besitzt. Der Detektor wird dadurch immer mit konstantem Widerstand bei allen Bereichen belastet.

Der einfache Transformationsvierpol der Abb. 53 wurde im Bereich von λ = 10...50 cm auf seine Vierpolverluste, die praktisch nur in der Stichleitung entstehen können, untersucht. Dabei wurden die in Abb. 53 aufgezeichneten Werte ermittelt. Es wurde dabei ein [illegible]barer Versuchsaufbau in Messingausführung verwendet.

Zusammenfassung:

Beim Entwurf eines Transformationsgliedes ist zu beachten:

1) Der Wellenbereich und das verwendete Absorptionselement (Bolometer usw.) sind bekannt. Damit ist der Verlauf der Abschlusswiderstände des Vierpoles gegeben. Weiter wird das Z bzw. $\mathfrak{Z}$ des zu ersetzenden Verbrauchers bekannt sein. Damit sind die zu transformierenden Eingangswiderstände gegeben und es kann der Bereich

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

der möglichen Transformationswege ermittelt werden.

2) Bei der Wahl der Transformationswege sind Stich- und Zwischenleitungen so vorzusehen, dass bei der mittleren Wellenlänge möglichst Leitungslängen von $\sim \lambda/4$ entstehen. Stichleitungslängen, die sich den Werten $l/\lambda = 0$ oder 0,5 um mehr als 1/50 nähern, sind bei allen Transformationsmöglichkeiten zu vermeiden.

Auf Zwischenleitungen darf bei grosserer Fehlanpassung ($m > 3$) kein Wirkleitwertmaximum durchlaufen werden (Strombauch), wie dies z.B. bei der Drei-Stichleitung (Anl. 36) durch die II. Lösung vermieden wurde.

3) Alle HF-Strom führenden Teile sind zu versilbern. Es hat sich bewährt, die Leitungsteile, über die Gleitkontakte bewegt werden (Posaunen), vor dem Versilbern zu vernickeln, da hierdurch die Silberschicht haltbarer wird.

B-II 6. Ausgeführte Bolometer-Leistungsmesser.

a) Gerät A für Bereich $\lambda = 8...12$ cm

Dieses Gerät besitzt einen Transformationsvierpol, der aus einer Kombination von einer dem Bolometer vorgeschalteten Leitung und einer parallelen Stichleitung besteht.

Die grundsätzliche Wirkungsweise wurde bereits auf S 67 mit Text und Abb. 50 erläutert. Der Transformationsbereich erstreckt sich auf alle Widerstände bzw. Leitwerte zwischen $-j\infty ... +j\infty$ deren Realanteile R bzw. G zwischen den durch den Leitungs- oder m-Kreis auf der reellen Achse abgeteilten Werten R_{max} und R_{min} (bzw. G_{max} und G_{min}) liegen (siehe Abb. 48, S 65). Praktisch wird meist auf den Wert des Wellenwiderstandes der angeschlossenen Energie-Leitung transformiert werden ($Z = 70\ \Omega$)

Für Bestückung mit einem Wolframfaden-Bolometer ist auf Anl. 38 der Transformationsweg auf Z eingetragen. Wegen der hohen Blindkomponente des Bolometer-Widerstandes kommt der Ausgangspunkt G_{Bol} auf einem Leitungskreis hohen m-Wertes zu liegen ($m \sim 20$ für $\lambda = 12$ cm). Es ergibt sich dadurch ein flacher Schnitt mit der Leitwertgeraden (g = konstant) der Stichleitung. Es ist deshalb zweckmässiger, zum transformierten Diagramm überzugehen. Für

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

den Bereich von λ = 8...12 cm ergibt sich eine vorgeschaltete Leitungslänge von ℓ_v = 0,3 λ.

Um aber alle nur möglichen Fälle anpassen zu können, wird das Gerät mit einem Hub von 1/2 λ_{max} ausgeführt. Es kann also damit der gesamte m-Kreis bestrichen werden. Durch die Bauform der Posaune bedingt wird die vorgeschaltete Leitung ca. 1/2 λ_{max} länger.

Für die dargestellten Meßfälle muss die Stichleitung eine eingestellt Länge von 5 und 2 mm haben. Damit ist der aus Gründen geringer Verluste festgesetzte Grenzwert der Annäherung an ℓ/λ = 0 und $\lambda/2$ um $\lambda/50$ fast erreicht. Bei der praktischen Messung äussert sich diss in einer sehr kritischen Einstellempfindlichkeit, da eine geringe Verstellung eine grosse Blindwertänderung zur Folge hat. Es ist deshalb für den Antrieb des Kurzschlußschiebers eine geringe Übersetzung (Ritzel und Zahnstange) vorzusehen.

Da Deziteil und die Brückenschaltung sind in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht, lediglich die zusätzlichen Meßgeräte (Strommesser, Normalwiderstand R_2' und die Speisebatterie) müssen noch zugeschaltet werden.

Der Widerstand R_0, der ausser der Erhöhung des inneren Widerstandes der Batterie noch zum Regeln des Brückenstromes J_0 dient, ist zur genaueren Einstellung des Brückengleichgewichtes in einen grob- und feinstufigen Widerstand aufgeteilt.

Das Gerät kann Wolfram-Bolometer, aber auch Halbleiter-Bolometer oder Thermoelemente als Indikatoren aufnehmen.

Es ist deshalb noch zu untersuchen, wie weit die Stromverteilung von dem geforderten Wert (analog zu der bei Gleichstrom) abweicht. Auf Anl. 38 ist die Bolometer-Halterung und die entstehende Stromverteilung aufgezeichnet (mit 3-fach vergrössertem Längenmaßstab). Es ergibt sich eine grosse Stromvariation, die eine Fehlmessung zur Folge haben wird (siehe S.). Es zeigte sich für diesen Fall bei der Versuchsreihe (Anl. 35, Messung b) gegenüber dem optimalen Fall eine Fehlmessung von - 13 % bei der kürzesten Welle. Daraus ergibt sich, dass für Drahtbolometer dieser Ausführung

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

bei Wellenlängen $\lambda \leqslant 10$ cm der Aufbau vor festem Kurzschluss nicht mehr tragbar ist. Bei Bolometern neuester Ausführung in Metall-Keramik-Bauweise würde sich durch kürzere Bondlängen dieser Fehler verringern.

Bei Zusammenfassung aller Fehlermöglichkeiten des Gleichstrom- und Hochfrequenzteiles (Anpassungsvierpol) kann bei optimaler Abstimmung noch mit einer Meßungenauigkeit von $\leq 10\,\%$ gerechnet werden. Dieser Fehler wurde in vielen Meßreihen mit verschiedenen Bolometern und dem Thermoabsorber als Vergleichsleistungsmesser eingehalten.

b) Gerät B für Bereich 3,5...10 cm

Das Gerät B ist eine Weiterentwicklung des Gerätes A, das aber noch für wesentlich kürzere Wellen brauchbar sein sollte. Darum ergibt sich die wichtigste konstruktive Änderung, die in dem verschiebbaren Kurzschluss hinter dem Bolometer besteht. Bei richtiger Einstellung kann somit der Stromverteilungsfehler vermieden werden.

Im Transformationsdiagramm äussert sich diese zusätzliche Abstimmmöglichkeit als eine dritte Einstellkomponente. Damit kann jeder mögliche Eingangswiderstandswert eingestellt werden. Das Leitungsstück hinter dem Bolometer stellt einen Serienblindwiderstand dar, der bei einem maximalen Hub von $l_k = \lambda/2$ alle Werte von $-j\infty \ldots +j\infty$ einnehmen kann. Im Leitwertdiagramm (Abb. 47, S 64, Abb. 48, S. 65 und Anl. 39) entspricht dies einem Kreis durch den O-Punkt, den Bolometerleitwert g_{Bol} und den Mittelpunkt auf der reellen Achse. Weicht l_k von dem Wert $l_k = 1/2\,\lambda$ ab, so wirdder Bolometerleitwert auf diesem Kreis verlagert. Damit kann man also auf Kreise anderen m-Wertes übergehen. Wie sich aus der Ortskurve der Bolometer-Leitwerte ergibt, würde man im Bereich von $\lambda = 3{,}5\ldots10$ cm auf m-Kreisen mit $m = 50\ldots22$ arbeiten. Dadurch würden extrem hohe Blindwerte von der Stichleitung benötigt ($-jy \sim 20$), die Einstellungen von $l_s \sim \frac{\lambda}{\lambda}$ mit sich brächten, die ausser hoher Einstellempfindlichkeit mit Stromverlusten verbunden sein könnten.

Durch geringe Veränderung von l_k vom Wert $1/2\,\lambda$, die sich auf die Stromverteilung noch nicht auswirkt, kann man auf einen Lei-

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

tungskreis geringeren m-Wertes (m 20) übergehen (siehe Diagramm Ani. 39) Transformationsweg Bol-). Die richtige Richtung der Änderung von ist an der Einstellempfindlichkeit von zu erkennen. Im ungünstigen Bereich ginge man auf m-Kreise noch höherer Werte über und die Einstellempfindlichkeit der Stichleitung erhöhte sich noch mehr.

Der mechanische Aufbau ist wie bei Gerät A ausgeführt. Über eine ausrückbare Reibkupplung ist es ermöglicht, dass bei Änderung der Leitungslänge die Länge unverändert bleibt, zur Feineinstellung jedoch allein korrigiert werden kann. Da sich die drei Abstimmkomponenten und gegenseitig bedingen, muss zur Ermittlung der optimalen Einstellung unter ständiger Beobachtung des maximalen Brückenquerstromes jede der 3 Einstellungen nacheinander mehrmals wiederholt werden.

Die Halterung des Bolometers erfolgt nach dem in Abb. 46 a, S 62 angegebenen Prinzip.

Die Erweiterung des Meßbereiches nach noch kürzeren Wellen ($\lambda < 3{,}5$ cm) ist begrenzt, da bei den Leitungsdurchmessern (5 mm innen, 16 mm aussen) bei $\lambda \approx 3{,}25$ cm sich eine Hohlrohrwelle vom H_{11}-Typ ausbilden kann, die nicht mehr an den Innenleiter gebunden ist und im Bolometer keinen Beitrag zur Leistungsmessung liefern würde. An einer vorgeschalteten Meßleitung ist dieser Zustand daran zu erkennen, dass sich der Anpassungsfall m = 1 nicht mehr herstellen lässt.

Für noch kürzere Wellen lässt sich das Leitungssystem des Transformationsvierpols nicht mehr präzise herstellen, man geht deshalb dann zu Hohlrohrleitern über (Leistungsmesser C).

Durch die Hinzunahme einer 3. Abstimmkomponente lässt sich zwar die optimale Einstellung ermöglichen, gleichzeitig wird jedoch die Gefahr grösserer Fehleinstellung durch Bedienungsfehler grösser.

Trotz des Überganges zu kürzeren Wellen ist der mögliche Meßfehler $< 10\,\%$ zu halten.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

c) Leistungsmesser, Gerät C für Bereich λ = (2,5...4) cm:

Dieses Gerät ist für Verwendung im Zentimeterwellenbereich bestimmt und deshalb mit einem Transformationsvierpol, der von Hohlleitern gebildet wird, ausgestattet. Der Anschlussflansch besitzt die Masse des genormten Meddoprofiles (10 x 23 mm). Damit ist der eindeutig zu übertragende Wellenbereich von (2,5...4) cm festgelegt (siehe Datenblatt Anl. 11).

Das Bolometer stellt wieder den einzigen Wirkwiderstand des Kreises dar. Es ist so angeordnet, dass es parallel zu den Schmalseiten in der Mitte der Breitseite steht. Es ist also parallel zum maximalen $\mathcal{E}$-Vektor der H_{10}-Welle angeordnet. Die Längsänderung der vorgeschalteten Leitung erfolgt durch Verschiebung des Bolometers in dem deshalb geschlitzten Hauptrohr. Dieser Aufbau erfordert eine sorgfältige Konstruktion zur Gewährleistung eines eindeutig bestimmten HF-Stromweges. Das Schema einer solchen Halterung ist in Abb. 46 b, S 62 gezeichnet.

Um tatsächlich die maximale Spannung am Bolometer zu erhalten, muss die Leitung hinter dem Bolometer im Abstand $l_K = \frac{\lambda}{4}$ mit einem Kurzschluss abgeschlossen sein. Die Kompensation der Blindkomponente erfolgt wieder mit einer parallelen Stichleitung S. Wie noch später bei der Betrachtung des Transformationsweges abgeleitet wird, müssen sehr grosse Blindwerte kompensiert werden, man muss mit bereits kritischen Einstellängen arbeiten, wobei sich Wirkverluste in den Schiebern sehr abwirken würden. Es werden deshalb kapazitive Schieber verwendet. Zur Erhöhung der Sperrwirkung bestehen die Schieber aus 3 hintereinanderliegenden Kammern, die je $\lambda/4$-Länge des in drei Bereiche geteilten Betriebs-Wellenbereiches besitzen (Wirkung als Bandsperre).

Der Kurzschlußschieber hinter dem Bolometer bewegt sich wie bei Gerät B mit dem Bolometer gemeinsam und kann allein nachgestellt werden.

Der Transformationsvierpol stellt eine Kombination mit 3 Abstimmkomponenten dar. Die Leitung mit l_K parallel zum Bolometer, die dem Bolometer vorgeschaltete Leitung mit der veränderbaren Länge l_L und die parallel Stichleitung mit l_S.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Nach dem Transformationsschema der Abb. 48 b kann damit jeder Wert mit R von 0...R_{max} und x von $-j\infty$ ... $+j\infty$ transformiert werden.

Auf Anl. 40 ist der spezielle Transformationsweg mit Anpassung auf Z noch einmal herausgezeichnet. Ist $\lambda_K = \frac{\lambda}{4}$, so wirkt sich die parallele Leitung nicht aus, da ihr Scheinwiderstand ∞ ist. Im Leitwert-Diagramm wird G_{Bol} dann auf einem zugeordneten m-Kreis bis G, zum Schnittpunkt mit der Leitwertgeraden der Stichleitung verlagert. Weicht λ_K vom Wert $\frac{\lambda}{4}$ ab, so wird dem Bolometer der entsprechende Blindwert parallel geschaltet. Das entspricht zugleich dem Übergang auf einen Leitungskreis anderen m-Werten (Transformationsweg über j' und j'').

Für die exakte Darstellung des Transformationsweges im transformierten System muss noch der Eingangswiderstand des Bolometers im Hohlrohrleiter ermittelt werden:

Mit der Versuchsanordnung der Abb. 54 wurde die Leistungsaufnahme und der Eingangswiderstand des Bolometers in Abhängigkeit von der Schieberstellung λ_K bestimmt.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Die Leistungsmessung erfolgte nach der Substitutionsmethode in der Brückenschaltung. Der Eingangswiderstand wurde mit der verschalteten Meßleitung durch Messung von k_u, l_{min} (Abstand Bolometer-Lage des Spannungsminimums auf der Meßleitung) und der Welligkeit m bestimmt. Die Auswertung der Messung zur Ermittelung der Werte von $\frac{2}{\lambda} l_k$ wurde nicht rechnerisch, sondern mit einem Kreisdiagramm durchgeführt.

Es war zunächst zu erwarten, dass sich die vom Bolometer aufgenommene Leistung als Funktion des Kurzschlußabstandes l_k ebenso wie die Spannungsverteilung längs der Leitung sinusförmig ändern würde. Der Kurvenverlauf zeigt jedoch keine ausgeprägte Leistungsspitze. Dieses Verhalten ist damit zu erklären, dass das Bolometer ein Widerstand mit grosser induktiver Komponente ist, zu deren Kompensierung die parallelgeschaltete Leitung mit ihrer Länge l_K den entsprechenden kapazitiven Gegenwert aufbringen muss. Der Eingangswiderstand des Bolometers ist als Parallelschaltung von $\mathfrak{Z}_{Bol}$ und $\mathfrak{Z}_K = f(l_K)$ aufzufassen (Abb. 55 a). $\mathfrak{Z}_K = \mathfrak{Z}_L \frac{2\pi l_K}{\lambda}$ verläuft nach der tangens-Funktion (Abb. 55 c). Bei $l_K/\lambda = 0{,}25$ und $0{,}75$ ist dem Bolometer der Blindwert ∞ parallelgeschaltet, in dieser Stellung von l_K müsste vom Eingang her der Bolometerwiderstand einzumessen sein. Zur Kontrolle dieser Werte wurde $\mathfrak{Z}_B$ nach Schaltung Abb. 55 b nachgemessen, wobei die Leitung hinter dem Bolometer mit Z abgeschlossen ist. Die Ergebnisse können als übereinstimmend bezeichnet werden, da bei dem steilen Verlauf der tg-Funktion um den Wert $\frac{\pi}{2}$ eine geringe Verschiebung von l_K eine grosse Änderung der Blindkomponente $\mathfrak{Z}_K$ zur Folge hat. Die wirksame Länge l_K konnte nicht mit der Genauigkeit festgelegt werden, mit der die Verschiebung Δl_K aufzunehmen war. l_K wurde deshalb über die Länge $\frac{\lambda}{2}$ punktweise verlängert, damit alle Einstellungen zwischen $+j\infty \ldots -j\infty$ durchlaufen. Die Richtigkeit der l_K-Messung bestätigt die $\frac{\lambda}{2}$ Messung, die mit ihrem Wert von den beiden Messungen $l_K = 0{,}475$ und $0{,}505\,\lambda$ umgeben ist. Für die Leistungsmessung ist die Einstellung $l_K = 0{,}5\,\lambda_K$ ohne Bedeutung, da dann in der Ebene des Bolometerfußes der $\mathfrak{f}$-Vektor 0 ist.

Mit dem ermittelten Eingangswiderstand kann nun im transformierten System (Kehrwertebene, da nur Parallelschaltungen vorliegen) der Transformationsweg zur Anpassung auf Z verfolgt werden. Bei $l_K = \frac{\lambda}{4}$

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

kommt $\underline{Y}_{Bol}$ auf den Kreis m = 25 zu liegen. Die verbleibende Leitung muss die Länge $\ell_1 = 0{,}4\ \lambda$ erhalten. Die Stichleitung muss eine kapazitive Komponente von $y_s = 4$ ($\ldots = 4$ Z) aufbringen. Durch eine kleine Änderung von ℓ_2 um $+ \ldots$ ($\ldots = 0{,}3$) gelangt man auf den Kreis m = 10, die Leitung benötigt nur noch die Länge $\ell_1 = 0{,}35\ \lambda$, die Stichleitung braucht nur noch den Blindwert $y_s = 3{,}0$ aufzubringen. Um einen universellen Vierpol zu erhalten, erhielten die Verschiebungslängen für ℓ_1 und ℓ_2 je $0{,}5\ \lambda_{max}$ Verstellbereich, ℓ_T erhielt einen Hub von $0{,}25\ \lambda_{max}$ + 0,3 cm.

Nach Messung einer Leistung bei Anpassung auf Z der Meßleitung ($m \sim 1{,}1$) werden die Verluste im Leistungsmesser selbst bestimmt. Die Abstimmglieder werden in der Stellung des Meßfalles belassen und die Anpassung wird

a) ohne Bolometer (Leerlauf) und
b) mit Kurzschlußstück (0,8 mm Cu-Draht) an Stelle des Bolometers bestimmt.

Im Falle a) wurde gemessen:

$U_{max} = 530$ mV $\rightarrow U^{x}_{max} = 530$ V

Kennlinienkorrektur $m = 106$, $K_V = \frac{4 \cdot 100\%}{2 + m + \frac{1}{m}} = \frac{4 \cdot 100\%}{108} = 4\ \%$

$U_{min} = 0{,}30$ mV $\rightarrow U^{x}_{min} = 5$ mV

Im Falle b) wurde gemessen:

$U_{max} = 600$ mV $\rightarrow U^{x}_{max} = 600$ mV

$U_{min} = 0{,}8$ mV $\rightarrow U^{x}_{min} = 9{,}2$ mV $\quad m = 65$, $K_V = \frac{4 \cdot 100\%}{67} = \sim 6\ \%$

Es wurde beobachtet, dass Einstellungen vorkommen können, bei denen es möglich ist, ohne Bolometer fast Anpassung ($m \sim 2$) zu erzielen, obwohl der Transformationsvierpol nur aus Blindwiderständen besteht. Man muss jedoch berücksichtigen, dass ein solcher Vierpol mit 3 Abstimmkomponenten jeden Widerstand der komplexen Zahlenebene in einen anderen Wert transformieren kann. Solche Fehlerquellen können entstehen durch Abschirmung an Undichtigkeiten des Rohres (Fall des Schlitzstrahlers - Strahlungswiderstand) z.B. durch den Führungs-Längsschlitz für das Bolometer im Hauptrohr. Diese Fehlermöglichkeit wurde jedoch bereits mit bei der vorher

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

genauen Messung entfällt. Eine weitere Fehlerquelle sind die Übergangswiderstände in den Kontakten, da bei dem benutzten kapazitive Schieber verwendet wurden, tritt an Stelle eines niedrigen Kontaktwiderstandes der Strahlungswiderstand. Die kapazitiven Schieber des Gerätes wurden deshalb in einem besonderen Rohr gleicher Dimensionen mit einer Meßleitung untersucht.

Bei Abschluss der Meßleitung mit der vorgesehenen Abschlussplatte ergab sich ein $U_{min} = 0$, also $m = \infty$. Die Abschlusswirkung des Schiebers ist also als ausreichend zu betrachten. Eine weitere Kontrolle am bereits meßfähig montierten Gerät 1 set sich einfach durchführen: Bei einer Leistung von $\sim$ 10 mW wird der Vierpol abgestimmt und die Brücke abgeglichen. Bei der grössten Empfindlichkeit des Brücken-Querstrominstrumentes wird dann die Abschlussplatte des Hohlrohres gelöst. Wäre der Schieber nicht dicht, so würde die Abstimmung des Vierpols geändert und das Rohr Energie abstrahlen. Dieser Vorgang würde sofort durch einen Ausschlag des Brückenquerstrom-Instrumentes erkenntlich sein, wenn ein Fehler in der Grössenordnung der Brücken-Messgenauigkeit vorhanden wäre (> 1 ‰), was jedoch nicht der Fall war.

Die Vergleichsmessungen zur Prüfung der gemessenen Leistungen wurden nach dem in Abb. 55 d angegebenen Schema durchgeführt. Durch die angewandte T-Schaltung wird bei jeweiliger Anpassung an die beiden Meßleitungen sofort die Vergleichsleistung ermittelt. Das ist besonders wichtig, da sich bei den verwendeten Klystron-Generatoren schwer derselbe Meßzustand wieder herstellen lässt,

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

wenn man Prüf- und Vergleich-Leistungsmesser nacheinander an den Generator anschliesst.

Dieses Verfahren ist auch punktisch nur dann durchführbar, wenn einer der beiden Leistungsmesser nach dem Absorber-Prinzip arbeitet, d.h. nicht abgestimmt zu werden braucht.

Ein solcher Hohlrohrabsorber lässt sich einfach aus einem gewöhnlichen Isolierstück (Pertinax) und nach Abb. 57 aufbauen. Als Indikator dient ein Thermo-Element oder ein Urdox-Widerstand, der parallel zum $\mathfrak{E}$ -Vektor im Hohlrohr steht. Sofern kein skineffektfreies Thermoelement zur Verfügung steht, muss die Anordnung bei der Betriebswelle geeicht werden (z.B. mit einem Hohlrohr-Leistungsmesser nach dem Luftthermometer-Prinzip). Zu beachten ist dabei, dass Z des Hohlrohres keine Konstante, sondern eine Funktion der Wellenlänge ist (s.Anl. 11). Wegen der grösseren Empfindlichkeit werden Thermo-Elemente und Urdox-Bolometer als Indikatoren bevorzugt, jedoch ist die Belastungsgrenze und der Leistungsmessbereich geringer. Zum Messen von Leistungen > 10 mW wird dann das Urdox-Element ausser Mitte eingesetzt, da die elektrische Feldstärke zum Rande hin nach einer sin-Funktion abnimmt.

Die Zusammenstellung der gemessenen Leistungen zur Genauigkeitskontrolle befindet sich als Teil C auf S.

B-II) 7 . Der Photometer-Leistungsmesser

Die Photometer-Geräte stellen im Meßprinzip eine aus dem Mittelfrequenzgebiet übernommene Meßmethode dar. Das Aufleuchten eines Glühfadens ist an sich der einfachste Nachweis einer elektrischen Wirk-

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

leistung. Nur musste dieser Methode nach den im Teil A erläuterten Gesichtspunkten für den Zentimeterwellenbereich in geeigneter Weise aufgebaut werden.

Wegen des hohen Eigenverbrauches sind die Photometer-Lampen als Strommesser nicht geeignet, dagegen können sie bei entsprechendem Aufbau im Zentimeterbereich von $\lambda > 5$ cm als Leistungsmesser Verwendung finden.

Die Lampen müssen so ausgeführt sein, dass sie in den Leitungsweg eingebaut werden können. Die Zuführungen erhielten deshalb die nebenstehend gezeichnete Form, um Stromschleifen usw. zu vermeiden.

Die Messung der Leistung selbst erfolgt durch Helligkeitsvergleich. Zur Bestimmung der Helligkeit dient der Strom einer Sperrschicht-Photozelle, die in einem Bauteil mit der Lampe verbunden ist. Der Glühfaden wird nun mit HF-Energie zum Leuchten gebracht, nach Feststellung eines Photozellenstromes wird die Lampe an Gleichspannung gelegt und soviel Leistung zugeführt, bis derselbe Photozellenstrom angezeigt wird. Es wird also als Meßprinzip unterstellt, dass zur Erreichung derselben Fadenhelligkeit die gleiche Gleichstromleistung wie HF -Leistung erforderlich ist.

Das trifft wie beim Bolometer-Leistungsmesser nur bei Einhaltung bestimmter Voraussetzungen zu:

1) Die Stromverteilung längs der Glühfadens muss gleich der bei Gleichstrom sein.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

2) Es darf kein wesentlicher Skin-Effekt auftreten.

3) Der dezimetrische Widerstand des Glühfadens muss auf den der Leitung angepasst werden können.

Diese Forderungen sind die Gleichen, wie sie beim Elementen-Leistungsmesser auftraten und dort im Einzelnen eingehend untersucht wurden.

Zu 1: Soweit die Fadenlänge nicht länger als $\lambda/10$ ist und der Leitungsabschlußschieber so gestellt wird, dass in der Mitte des Fadens ein Strom-Maximum steht, ist die Stromverteilung bei HF mit guter Annäherung gleich der bei Gleichstrom zu setzen.

Zu 2: Der Skin-Effekt bewirkt eine Verdrängung der Stromdichte nach aussen. Damit erfolgt die Erhitzung des Fadens mehr an der Oberfläche als im Kern. Die Folge ist dann eine etwas grössere Wärme-Ableitung an den Enden durch die Halterung. Durch die Wahl der Drahtstärke kann dieser Fehler < 5 % gehalten werden. Für Lampen grösserer Leistung werden deshalb mehrere Fäden parallel angeordnet.

Zu 3: Zur Erreichung der Anpassung wird zwischen Leitung und Lampenteil ein Transformationsvierpol geschaltet. Dieser besteht aus einer parallelen Stichleitung zur Kompensation der Blindkomponente und aus einem verstellbaren U-förmigen Leitungsauszug zur Änderung der elektrischen Länge. Wie aus den Transformationsdiagrammen ersichtlich ist (Anlage 38), können damit alle vorkommenden Fälle transformiert werden, wenn der Verstellbereich der beiden Abstimmelemente (Parallel-Blindwert und elektrische Länge) einen maximalen Hub von $\lambda/4$ ermöglicht. Die Verluste des Transformationsvierpols wurden, wie auf S. näher beschrieben, mit Hilfe einer Meßleitung untersucht. Bei der Einstellung optimaler Anpassung wurde mit der Ersatz-Methode "Kurzschluss" und "Leerlauf" eine Welligkeit von s ca. % hergestellt. Das entspricht einem Wirk-Verlustanteil von ca. 5 %. Diese Verluste sind zum grössten Teil durch die 3 Schraubkupplungen bedingt, da diese nicht mit gefiederten Kontaktkränzen ausgestattet sind und dadurch undefinierte Stromwege darstellen können. Durch festes Anziehen und Verkanten der Kupplungen konnte der s-Wert vergrössert und die Verluste dadurch auf ca. 3 % herabgesetzt werden.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Mit photoelektrischen Geräten nach diesem Prinzip lassen sich nur geringere Leistungen nachweisen (N > 250 mW).

Die Energie-Strahlung erfolgt nach dem Stephan-Boltzmannschen Gesetz

$$S = O \cdot S \cdot A \cdot (T^4 - T_o^4) \qquad (W)$$

O = Oberfläche in cm^2; S = Boltzmannsche Strahlungskonstante; A = Absorptionsfaktor (A<0...1); T_o = Übertemperatur

$$S = 5{,}76 \cdot 10^{-2} \ \frac{Watt}{cm^2 Grad^4}$$

mit der 4. Potenz der Temperatur. Bei Wolframfäden ist A keine Konstante, sondern nochmals eine Funktion (T^1) der Fadentemperatur.

Die Fadentemperatur folgt nach der Formel

$$N = J^2 \cdot R$$

der 2. Potenz des Stromes. Die abgestrahlte Energie ist also eine Funktion von ca. der 6. Potenz des Stromes. In die Anzeige geht dann noch die Empfindlichkeit der Photozelle ein. Diese ist noch temperaturabhängig, so dass hierin der grösste Unsicherheitsfaktor des Meßverfahrens liegt.

Photometer-Leistungsmesser besitzen eine gute Relativ-Genauigkeit, sie eignen sich vor allem für Konstanz-Messungen in Prüffeldern usw.

Mit einer Ausführung des Photometer-Leistungsmessers nach untenstehenden Prinzip- und Ansichtsbildern können Leistungsmessungen im Bereich von λ = 8...25 µm mit einer Genauigkeit von < 10 % erfolgen. Der Transformationsvierpol ist mit 1 bezeichnet. Das Lampenteil 2 nimmt die Lampe und die Photozelle auf. Zur Vermeidung der direkten Wärmestrahlung ist die Photozelle ca. 7 cm entfernt angeordnet. Zur Herabsetzung der Lichtverluste ist der Raum zwischen Lampe und Photozelle mit einem Plastlichtstab ausgefüllt. Zur Erhöhung des Meßbereiches und vor allem zur Überschneidung der Meßbereiche der Lampen untereinander (siehe Eichkurven, Anl. 41) sind zwischen Lampe und Photozelle noch einschiebbare Querschnittsblenden und Graufilter vorgesehen. Mit 3 Lampen ergibt sich für den vorgenannten Wellenbereich ein Leistungsmeßbereich von 0,25...10 W.

Der Lampenanteil ist im Aussenleiter kapazitiv aufgeteilt. Für den

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

HF-Strom stellt die Kapazität von 300 pF praktisch einen Kurzschluss dar. Für den Leistungsvergleich lässt sich dadurch die Gleichspannung leicht anlegen.

Der Leitungsabschluss hinter der Lampe erfolgt mit einem anschraubbaren Kurzschlußschieber 3. Mit dessen Einstellung ist die Stromverteilung auf den Glühfaden bestimmt. Der Abstand vonFadenmitte bis Kurzschlußebene wird deshalb bei optimaler Einstellung $\sim \frac{\lambda}{2}$ sein.

Zur einfachen Handhabung des Gerätes sind in einem Anzeigegerät 4 der Strommesser für den Photozellenstrom (0...30 µA) und ein Netzteil zusammengefasst. Ausserdem sind aussen die Instrumente für die Bestimmung der Gleichstromleistung (Spannungsmesser 0...6/...15...30 V bei $R_i >$ 1000 Ω/V, Strommesser 0...150/...300/...600 mA, $\delta < 2$ %) und die Regelwiderstände anzuschliessen.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

Ph.

Gang einer Leistungsmessung:

Nach Zuschalten des HF-Generators wird mit Hilfe des Serien-Schiebers das Leitungsende so verlegt, dass ein Strombauch auf den Glühfaden zu liegen kommt. Das ist am Zeigerausschlag des μ-Amperemeters für den Photozellenstrom zu erkennen. Durch Verbesserung der Anpassung mit Hilfe des Transformationsvierpols wird der Zeigerausschlag vergrössert und auf einen maximalen Wert eingestellt. Erreicht dabei der Zeiger den Skalen-Endwert, so ist der Lichtstrom durch Einschalten des Filters zu verringern. Reicht diese Reduzierung nicht aus, so können noch die beiden Querschnittsblenden eingeschoben werden. Um ein Durchbrennen der Glühfäden zu vermeiden, ist es dann besser, eine stärkere Lampe einzusetzen, bzw. das Lampenteil mit stärkerer Lampe zu tauschen, da sich die aufgenommene Wirkleistung besonders bei Verstellung der Stichleitung oft sprungartig erhöht und damit die Lampen gefährdet. Alle Einstellungen sind reihum noch ein- bis zweimalig zu verbessern, da alle 3 Abstimmvorrichtungen sich gegenseitig beeinflussen und ergänzen.

Bei dieser endgültig optimalen Einstellung wird der Ausschlag des μ-Amperemeters für den Photozellenstrom abgelesen.

Nach Abschalten der HF-Energie wird die Gleichspannung des Anzeigegerätes an das Lampenteil gelegt und die Leistungsmeßlampe mit Gleichstrom gespeist, bis sich derselbe Photozellenstrom einstellt. Nach Ablesen der Werte für U und J ist dann die aufgewendete Leistung

$$N_{HF} = N_{=} = U \cdot J$$

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3 STAT

Anlage Nr.		
1	Thermo-Absorber, Schnitt	
2	thermische Zeitkonstante	
3	Eichkurve des Thermo-Absorbers	
4	Zusammenstellung von Leitungsdaten	
5	H_{10}-Wellenbild bei Anpassung	
6	" " " Reflexion	
7	Wasserleistungsmesser A, Prinzipbild	18
8	Leitfähigkeit des Wassers	
9	Leistungsdiagramm Wasserleistungsmesser A	
10	" " B	
11	Daten der Hohlrohrprofile A und B	
12	Fehlanpassung in Abhängigkeit von der Welligkeit	19
13	Leistungsverlust durch Fehlanpassung	19
14	Welligkeit des Wasserleistungsmessers A	19
15	Berechnung der Wasserleistungsmesser	19
16	Anpassung der Längsfolie im Hohlrohr	23
17	Eichkurve der Hohlrohr-Meßleitung	23
18	Fehlanpassung der Längsfolie im Hohlrohr	23
19	Frequenzabhängigkeit des Hohlrohrabsorbers	23
19a	Schema des Luftthermometer-Leistungsmessers	28
20	Kennlinien der Halbleiter-Bolometer	34
21	Eichkurven der Thermo-Elemente	36
22	Berechnung der Bolometerbrücke	38
23	Kennlinien von Vakuum-Bolometern	41
24	Trägheitsempfindlichkeit mit Vakuum-Bolometern	41
25	Berechnung der Widerstandserhöhung durch Stromverdrängung	55
26	Skin-Effekt als Funktion des Drahtdurchmessers	55
27	" " " " der Wellenlänge	55
28	" " " " der Temperatur	55
29	Kennlinien-Berechnung als Funktion der Stromstärke	55
30	" " " " " Leistung	55
31	Berechnung des Eingangswiderstandes des Bolometers	57
32	Eingangswiderstand des Bolometers (Kurvenbild)	57
33	Schema der Meßleitung zur Bolometer-Untersuchung	58
34	Untersuchung des Einflusses der Stromverteilung	59

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Anlage Nr.	Bezeichnung	Seite
35	Wirkung der Stromverteilung an verschiedenen Halterungen	82
36	Transformationsdiagramm der Dreistichabstimmung	83
37	Bestimmung der Tiefpol-Wirkverluste	85
38	Prinzip des Bolometer-Leistungsmessers A	75
39	" " " " B	77
40	" " " " C	79
41	Eichkurven des Photo-Leistungsmessers	86
42	Kennlinien des Bolometers 2090	Anhang
43	" " " 2519	
44	" " " 2520	
45	" " " 2091	
46	" " Meßlämpchens	
47	Zusammenstellung der Formeln f. d. Skineffekt	
48	Verlauf des spez. Widerstandes von Wolfram	
49	" der Wärmeleitfähigkeit " "	
50	Absorptionsvermögen von Wolfram	
51	Ausgleich des Skineffektes von Wolfram 11 µm Ø	
52	Temperaturverlauf des Bolometerfadens	
53	Eindringtiefen in Leitern bei = $0,1 \ldots 10^5$ MHz	
54	Berechnung und Konstruktion der Leitungs- und Kreisdiagramme	

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3

STAT

B) Literatur-Verzeichnis

1. Meinke, Arbeitsunterlagen und Vorlesungen über Hochfrequenztechnik, Bd. I...5, München-Selbstverlag, 1947
2. L.Chu und W.L.Barrow, Elektrische Wellen in metallischen Hohlrohren in Proceedings of the institution of Radio Engineers 1938, Bd. 26, S. 1520-55.
3. K.Fränz, Die Schwächung sehr kurzer elektrischer Wellen beim Durchgang durch Nebel und Wolken.
4. H.Benz, Strommessung und Skineffekt, HFT.Bd.36(1930) S.41
5. Schwarz, " " HFT.Bd.39(1932) S.160
6. Wien, Hochfrequenz-Widerstände HFT.Bd.37(1931) S.169
7. Warburg, Leithäuser und Johannsen, Bolometer f.Strahlungsmessung, Ann.d.Physik 1907, Bd.24, S.25.
8. Küpfmüller, Einf.i.d.theoretische Elektrotechnik, 2.Aufl.1939, S. 17, betr.Rückempfindlichkeit
9. Küpfmüller, Berechnung v. Stromverzweigungen, ETZ.H.43(1920) S.850.
10. K.Fränz, Messung kleiner Leistungen mit dem Bolometer, HFT Bd.59(1942), S.109-111.
11. O.Zinke, Hochfrequenz-Meßtechnik, Verl.S.Hirzel,Leipzig 1948
12. A.Bund, Hochfrequenz-Meßtechnik, Bolometermethode, 2.Aufl.Berlin 1928, S.129
13. J.Zenneck, Zennecksche Formeln für Skin-Effekt, Ann.d.Phys.Bd.11, 1903, S.1135, Drahtlose Telegraphie Verl. Enke, Stuttgart 1925, S.[illegible], Tab.III.
14. Wallauschek, Messung kleiner Leistungen in der Bolometerbrücke, HFT.18 (1941), H.11, S.[illegible]
15. O.Schmidt, Paralleldrahtsysteme als Meßleitungen in der Kurzwellentechnik, HFT.47, H.1, (1936)
16. Meinke, Bolometer als Leistungsmesser für sehr kurze Wellen (< 20 cm), HFT.19, H 3/4, (1942), S.[illegible]
17. Meinke, Modellversuche zur Berechnung von Verlust- und Leitungen, HFT.57 (1941) S. 17
18. A.Weissfloch, Bestimmung von Vierpolwiderständen, HFT. 59 (1942), H.12, S. 385.
19. Rhinow, Theorie des Skineffektes bei Bolometern.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2012/11/01 : CIA-RDP80-00926A003700030007-3